

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL

BEATRIZ DA SILVA LIMA

**CONTRIBUIÇÕES PARA COLETA E ANÁLISE DE INDICADORES DE
PRODUTIVIDADE EM EMPRESAS CONSTRUTORAS
NA CIDADE DE MACEIÓ/AL**

Maceió/AL

2023

BEATRIZ DA SILVA LIMA

**CONTRIBUIÇÕES PARA COLETA E ANÁLISE DE INDICADORES DE
PRODUTIVIDADE EM EMPRESAS CONSTRUTORAS
NA CIDADE DE MACEIÓ/AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em engenharia civil.

Orientadora: Prof. Dr.^a Adriana de Oliveira Santos Weber.

Coorientador: Me. Carlos Alberto Santos Barbosa.

Maceió/AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Betânia Almeida dos Santos – CRB 1542

- L732a Lima, Beatriz da Silva.
Contribuições para coleta e análise de indicadores de produtividade em empresas construtoras na cidade de Maceió/AL / Beatriz da Silva Lima. - 2023.
91 f. ; il.,fig.
- Orientador: Adriana de Oliveira Santos Weber.
Coorientador: Carlos Alberto Santos Barbosa.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.
- Bibliografia: f. 79-81.
Apêndice: f. 82-91.
1. Indústria – construção civil. 2. Indústria – construção civil – indicadores de produtividade. 3. Empresas imobiliárias – indicadores de desempenho. 4. Benchmarking. I.Título.

CDU: 69:65.012.2(813.5)

Dedico este trabalho e a minha formação em engenharia civil à Deus e aos meus pais e meus irmãos, que me permitiram realizar este sonho.

AGRADECIMENTOS

Esperei por este momento desde os doze anos, quando eu decidi que seria engenheira civil. Agradeço a Deus, que me manteve de pé e não me permitiu desistir mesmo com as muitas dificuldades que enfrentei, que acalentou meu coração e me fez seguir em frente, passo a passo, um momento por vez. Agradeço aos meus pais, Vicente e Cristiana, por sempre acreditarem em mim, por nunca duvidarem da minha capacidade e por me proporcionarem todas as condições para que eu pudesse estudar.

Aos meus irmãos Leonardo, João e Miguel por serem luz na minha vida, por todos os momentos que me divertiram e me distraíram de uma rotina tão exaustiva. Impossível não agradecer às pessoas que estiveram todos os dias do meu lado, que me entregaram um dos melhores presentes que a universidade poderia me proporcionar, a amizade, obrigada Eduarda, Gabriella, Maylla, Kyara, Valéria, Thallita, Geovani, João Edson, Diana e Luana por cada momento de estudo e risadas na biblioteca, pelos muitos almoços no restaurante universitário e por me consolarem em cada uma das provas.

Agradeço a Gabriela e Karla por serem uma linda surpresa no fim do curso, por ouvirem todas as minhas reclamações diárias e por se fazerem sempre presentes. Agradeço à Podium Engenharia, por ter me mostrado quão fascinante é a construção civil, e por cada uma das pessoas que trabalham ali e diariamente me incentivam e me ensinam. A todos os funcionários presentes na obra, por serem pacientes e prestativos e, em especial, ao meu Mestre por ser o maior exemplo de profissional que eu poderia conhecer.

Agradeço à Empresa Júnior de Arquitetura e Engenharia Civil por toda experiência e conhecimento que me proporcionou. Agradeço, em especial, à Universidade Federal de Alagoas, por todas as oportunidades de monitoria, bolsa de iniciação científica, projetos de extensão, participações em congressos, palestras e viagens. Agradeço principalmente pelo ensino, por ser uma das melhores universidades do Brasil e por todas as aulas, professores e monitores que estiveram presentes na minha jornada acadêmica. Agradeço à Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas, a todas as construtoras, gestores e funcionários que participaram da pesquisa que originou este trabalho.

Agradeço à minha banca, por todo o auxílio e apoio, por me ouvirem, por me ensinarem e por se fazerem presentes não apenas no meu Trabalho de Conclusão de Curso, mas em toda minha jornada acadêmica, Adriana, Carlos, Luiz, Ismael e Roberto. Agradecimentos especiais à professora Adriana que esteve comigo desde o segundo período da faculdade, que me proporcionou diversas oportunidades acadêmicas e que sempre acreditou no meu potencial.

E por fim, mas não menos importante, eu gostaria de agradecer a mim, pode parecer um pouco presunçoso, mas gostaria de agradecer a principal pessoa que permitiu que isso se tornasse realidade, a pessoa que enfrentou cada um dos desafios, que nunca acreditou que desistir fosse uma possibilidade, que seguiu em frente e confiou em Deus e em seus pais para realizar este sonho.

RESUMO

A implementação de sistemas de qualidade e programas de medição de desempenho têm sido uma necessidade crescente das empresas para ampliar a qualidade dos serviços e a satisfação do cliente. Os indicadores de desempenho têm cumprido importante papel no desenvolvimento da indústria da construção civil e na redução de barreiras do mercado, por auxiliarem as empresas a atingirem as expectativas em relação a custos e prazos dos empreendimentos. Os efeitos da implementação de indicadores podem ser potencializados quando associados à prática do *benchmarking*, que apesar de ser uma atividade pouco realizada em Alagoas, vem demonstrando grande retorno para as construtoras no Brasil e no mundo. Diante deste cenário, o Grupo de Pesquisa em Gestão e Economia das Construções do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, em parceria com a Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas e onze construtoras atuantes no Estado, realizou a implementação de indicadores de desempenho. Tendo em vista a participação da autora neste projeto de pesquisa, este trabalho visa propor contribuições para coleta e análise de dados de indicadores de produtividade a partir dos resultados de análises estatísticas. O método utilizado foi o de análise de arquivos, realizado a partir dos materiais disponibilizados pelo Grupo e foi conduzido um mapeamento sistemático da literatura para embasar este trabalho. Para analisar as variáveis coletadas foi utilizado o teste z para duas amostras e os testes de Kolmogorov-Smirnov e Teorema do Limite Central através do software GNU Octave para comprovar a normalidade. Dentre os sete serviços analisados, cinco apresentaram aumento da produtividade. Entre as principais conclusões, o estudo indicou evidências estatísticas significativas para o aumento da produtividade das empresas nos três anos analisados, em decorrência da implementação de indicadores associados à prática do *benchmarking*. No entanto, as dificuldades de padronização de coleta e armazenamento de dados ainda interfere significativamente na análise dos resultados.

Palavras-chave: medição de desempenho; construção civil; indicadores de produtividade; *benchmarking*.

ABSTRACT

The implementation of quality systems and performance measurement programs has become an increasing necessity for companies to enhance service quality and customer satisfaction. Performance indicators have played a significant role in the development of the construction industry and the reduction of market barriers, as they assist companies in meeting expectations regarding project costs and deadlines. The effects of implementing indicators can be enhanced when combined with benchmarking practices, which, despite being a less frequently performed activity in Alagoas, have shown significant returns for construction companies in Brazil and worldwide. In light of this scenario, the Research Group in Construction Management and Economics at the Federal University of Alagoas, in partnership with the Association of Real Estate Companies in Alagoas and eleven active construction companies in the state, implemented performance indicators. Considering the author's participation in this research project, this work aims to propose contributions to the collection and analysis of productivity indicator data based on the results of statistical analyses. The method employed was file analysis using materials provided by the Group, and a systematic literature review was conducted to support this work. The z-test for two samples, Kolmogorov-Smirnov test, and Central Limit Theorem tests were utilized, employing GNU Octave software to verify normality. Among the seven services analyzed, five demonstrated increased productivity. Among the main conclusions, the study indicated statistically significant evidence of increased productivity for the companies over the three analyzed years, as a result of implementing indicators associated with benchmarking practices. However, difficulties in standardizing data collection and storage still significantly affect the analysis of results.

Keywords: performance measurement; construction industry; productivity indicators; benchmarking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma de atividades da pesquisa.....	14
Figura 2	Evolução da quantidade de artigos publicados e de citações sobre indicadores de produtividade associados à prática do <i>benchmarking</i> na construção civil ao longo dos anos (2000-2023)	16
Figura 3	Revistas com a maior quantidade de artigos publicados que abordam questões relacionadas a indicadores de produtividade associados à prática do <i>benchmarking</i> na construção civil.....	17
Figura 4	Site de indicadores de qualidade de obras.....	26
Figura 5	Seminário de Inovação em Engenharia e <i>Design</i>	29
Figura 6	Seminário de <i>Benchmarking</i> em Indicadores para Produtividade.....	29
Figura 7	Visita de acompanhamento realizada no empreendimento A1 em 10 de outubro de 2019.....	31
Figura 8	Seminário de Aplicações de ferramentas de <i>Lean</i> na Construção Civil	31
Figura 9	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) em 2019.....	42
Figura 10	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) em 2020.....	42
Figura 11	Teorema do Limite Central para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) em 2019.....	42
Figura 12	Teorema do Limite Central para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) em 2020.....	43
Figura 13	Teste z para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) (2018-2019)	44
Figura 14	Teste z para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) (2019-2020)	45
Figura 15	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de reboco interno (argamassa) em 2018.....	47
Figura 16	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de reboco interno (argamassa) em 2019.....	47
Figura 17	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de reboco interno (argamassa) em 2020.....	47
Figura 18	Teorema do Limite Central para indicador de reboco interno (argamassa) em 2018.....	48

Figura 19	Teorema do Limite Central para indicador de reboco interno (argamassa) em 2019.....	48
Figura 20	Teorema do Limite Central para indicador de reboco interno (argamassa) em 2020.....	48
Figura 21	Teste z para indicador de reboco interno (argamassa) (2018-2019)	49
Figura 22	Teste z para indicador de reboco interno (argamassa) (2019-2020)	50
Figura 23	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de contrapiso em 2020.....	52
Figura 24	Teorema do Limite Central para indicador de contrapiso em 2020.....	52
Figura 25	Teste z para indicador de contrapiso (2018-2019)	53
Figura 26	Teste z para indicador de contrapiso (2019-2020)	54
Figura 27	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de revestimento interno (pisos) em 2018	55
Figura 28	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de revestimento interno (pisos) em 2019.....	55
Figura 29	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de revestimento interno (pisos) em 2020.....	55
Figura 30	Teorema do Limite Central para indicador de revestimento interno (pisos) em 2018.....	56
Figura 31	Teorema do Limite Central para indicador de revestimento interno (pisos) em 2019.....	56
Figura 32	Teorema do Limite Central para indicador de revestimento interno (pisos) em 2020.....	57
Figura 33	Teste z para indicador de revestimento interno (pisos) (2018-2019)	57
Figura 34	Teste z para indicador de revestimento interno (pisos) (2019-2020)	58
Figura 35	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-fôrma em 2019	60
Figura 36	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-fôrma em 2020.....	60
Figura 37	Teorema do Limite Central para indicador de concreto-fôrma em 2019...	60
Figura 38	Teorema do Limite Central para indicador de concreto-fôrma em 2020...	61
Figura 39	Teste z para indicador de concreto-fôrma (2018-2019)	62
Figura 40	Teste z para indicador de concreto-fôrma (2019-2020)	63

Figura 41	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-armadura em 2019.....	64
Figura 42	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-armadura em 2020.....	64
Figura 43	Teorema do Limite Central para indicador de concreto-armadura em 2019	65
Figura 44	Teorema do Limite Central para indicador de concreto-armadura em 2020.....	65
Figura 45	Teste z para indicador de concreto-armadura (2018-2019)	66
Figura 46	Teste z para indicador de concreto-armadura (2019-2020)	67
Figura 47	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-concretagem em 2018.....	68
Figura 48	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-concretagem em 2019.....	68
Figura 49	Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-concretagem em 2020.....	68
Figura 50	Teorema do Limite Central para indicador de concreto-concretagem em 2018.....	69
Figura 51	Teorema do Limite Central para indicador de concreto-concretagem em 2019.....	69
Figura 52	Teorema do Limite Central para indicador de concreto-concretagem em 2020.....	70
Figura 53	Teste z para indicador de concreto-concretagem (2018-2019)	70
Figura 54	Teste z para indicador de concreto-concretagem (2019-2020)	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Artigos de maior aderência ao tema da pesquisa.....	10
Quadro 2	Situações relevantes para diferentes métodos de pesquisa.....	13
Quadro 3	Categorização das construtoras e dos empreendimentos estudados.....	20
Quadro 4	Indicadores de produtividade.....	21
Quadro 5	Formulário de coleta de dados para cálculo de indicadores de caráter mensal.....	25
Quadro 6	Quantitativo de dados mensais enviados pelos empreendimentos.....	33
Quadro 7	Indicadores de produtividade do Clube de <i>benchmarking</i>	34
Quadro 8	Índices de produtividade do Clube de <i>benchmarking</i>	35
Quadro 9	Síntese da análise comparativa dos indicadores de produtividade.....	72
Quadro 10	ST utilizada no processo de MS.....	84
Quadro 11	Artigos extraídos da <i>Web of Science</i> TM	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADEMI	Associação das Empresas do Mercado Imobiliário
CTEC	Centro de Tecnologia
MS	Mapeamento Sistemático
NORIE	Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
RUP	Razão Unitária de Produção
TCPO	Tabela de Composições e Preços para Orçamentos
TLC	Teorema do Limite Central
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFBA	Universidade Federal da Bahia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	1
1.2 QUESTÃO DA PESQUISA	3
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	3
1.3.1 Objetivo geral	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	3
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
2 REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 MEDIÇÃO E INDICADORES DE DESEMPENHO.....	5
2.2 <i>BENCHMARKING</i> NA CONSTRUÇÃO CIVIL	8
3 MÉTODO DE PESQUISA	13
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	13
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	14
3.2.1 Mapeamento sistemático da literatura	14
3.2.1.1 Estado da arte sobre indicadores de produtividade associados à prática do <i>benchmarking</i> na construção civil	16
3.2.2 Análise documental das reuniões com o grupo de <i>benchmarking</i> e visitas técnicas às obras.....	17
3.2.3 Coleta dos indicadores das empresas do Clube de <i>benchmarking</i>	19
3.2.3.1 Atividades desenvolvidas pelo Clube de <i>benchmarking</i>	19
3.2.3.2 Indicadores de Produtividade	20
3.2.3.3 Implementação de uma ferramenta computacional para melhorar a etapa de coleta ...	24
3.2.4 Processamento e análise do banco de dados.....	26
3.2.4.1 Levantamento dos dados.....	27
3.2.4.2 Criação do banco de dados	33
3.2.4.3 Identificação dos valores espúrios e dados faltantes	35
3.2.4.4 Métodos de análise para as variáveis coletadas.....	36
3.2.5 Seminário com as construtoras do grupo de <i>benchmarking</i> para triangulação de dados	40
3.2.6 Resultados e discussões	40

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.1 INDICADORES DE PRODUTIVIDADE	41
4.1.1 Alvenaria (bloco cerâmico)	41
4.1.2 Reboco interno (argamassa)	46
4.1.3 Contrapiso.....	51
4.1.4 Revestimento interno (piso).....	55
4.1.5 Concreto-Fôrma.....	59
4.1.6 Concreto-Concretagem.....	68
4.2 CONTRIBUIÇÕES PARA COLETA E ANÁLISE DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE	74
4.2.1 Definição e caracterização dos indicadores.....	74
4.2.2 Coleta e armazenamento dos dados.....	75
4.2.3 Análise dos dados	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
APÊNDICE A – PROTOCOLO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA	82
APÊNDICE B – ARTIGOS EXTRAÍDOS DA <i>WEB OF SCIENCE</i>TM	86

1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta o contexto geral em que o tema está inserido, a justificativa do trabalho, a questão da pesquisa, os objetivos, e as delimitações de estudo.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O desenvolvimento do setor da construção civil nos últimos anos está diretamente atrelado à busca pelo aumento da qualidade dos serviços, do produto final e da satisfação do cliente (PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE NO HABITAT, 2018). Essa busca fez as empresas aderirem a programas de medição de desempenho e a implementação de sistemas de qualidade, que quando bem aplicados, auxiliam as empresas na obtenção de certificação com base nas normas da NBR ISO 9000:2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) e no PBQP-H (PBQP-H, 2018) por meio do SIQ/SiAC (Sistema de Avaliação de Conformidade).

Segundo Campos (1992) o gerenciamento da qualidade consiste em discutir, raciocinar e tomar decisões com dados e com base em fatos, dessa forma, decisões estratégicas, planejamento e alinhamento das atividades devem ser definidos seguindo as informações de uma base de dados da empresa. Essa base de dados pode ser criada através da medição de desempenho, um processo que define o que medir, como medir e como processar e analisar os dados encontrados, dados esses que serão base para a tomada de decisão (LANTELME, 1994).

Com um sistema de medição de desempenho implementado, é possível criar uma base de dados da empresa, e através de trocas de informações de indicadores as empresas podem se desenvolver e aperfeiçoar produtos e serviços influenciadas pela competitividade do setor. A construção civil, possui peculiaridades que a diferenciam de outros setores da indústria, como o layout e funcionamento do canteiro de obras, as incertezas relacionadas a execução artesanal dos serviços, e os diferentes métodos construtivos (SILVA *et al.*, 2017).

O setor da construção civil no Brasil é caracterizado como tradicional e conservador, isso ocorre, em parte, porque até a década de 1970 a maioria dos investimentos eram advindos do Estado e não havia programas de qualidade para o setor, o que desestimulava a inovação por parte das empresas (NASCIMENTO; SANTOS, 2003). Entretanto, a partir de 1980 a construção civil iniciou um processo de transformação, em busca da inovação e da melhoria da

qualidade de seus produtos, iniciando a implementação de sistemas de qualidade e consequentemente a implementação de indicadores de desempenho (COSTA, 2003).

A indústria da construção vem apresentando mudanças significativas, pois o aumento no nível de exigência dos consumidores em relação à qualidade dos empreendimentos e a competitividade no setor, influenciou as empresas a buscarem melhorias em seu produto final, por meio de técnicas em busca da maximização do valor e da qualidade, com redução do custo (SCARDOELLI, 1995). Por isso o foco em obter a certificação da ISO 9000.

Um dos principais pontos que auxiliam no processo de certificação é a medição de desempenho bem incorporada nas empresas, tendo em vista que o processo de certificação é caracterizado por monitoramento, controle, melhoria contínua e avaliação (COSTA *et al.*, 2005). Com isso, o sistema de medição de desempenho passou a ser essencial para as empresas, mas ele vai além do processo de certificação, sendo de suma importância para decisões e análises do planejamento e controle gerencial das empresas.

A medição de desempenho pode ser aperfeiçoada com o uso do *benchmarking*, caracterizado pelo compartilhamento de boas práticas. De acordo com Nasir *et al.* (2012), a transferência de boas práticas entre as empresas é uma importante ferramenta para o crescimento empresarial. O aumento da produtividade pode proporcionar benefícios significativos para as construtoras e contribuir com a redução de custos e prazos, além de ser um dos principais objetivos das construtoras, afinal isso gera maior lucro e competitividade no setor.

O processo de coleta e armazenamento dos indicadores de produtividade é um dos principais desafios na implementação de indicadores (ASSAAD; EL-ADAWAY, 2021). Por isso é fundamental a padronização da ferramenta que será utilizada para coleta e o monitoramento desta etapa, para garantir que todos os serviços estão sendo registrados da forma correta. Para facilitar esse processo já existem ferramentas tecnológicas, como aplicativos e *sites* que além de armazenarem os dados, podem apresentar resultados em tempo real (DANEL *et al.*, 2021).

Com o objetivo de promover ações nas áreas de qualidade, produtividade e inovação no setor da construção civil, baseado no sistema de indicadores de desempenho, surgiu em 2015 o Grupo de Pesquisa em Gestão e Economia das Construções do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), coordenado pela Prof.^a Dra. Adriana de Oliveira Santos Weber, fundamentado em estudos já desenvolvidos pelo Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Motivada pela participação da autora no projeto citado, este trabalho está sendo desenvolvido para propor contribuições para implementação de indicadores de produtividade em construtoras alagoanas com a prática do *benchmarking*, um projeto desenvolvido em uma parceria entre a Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e a Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas (ADEMI-AL).

1.2 QUESTÃO DA PESQUISA

Baseado no problema apresentado na introdução, foi formulada a seguinte questão de pesquisa: “Quais as principais dificuldades na implementação de indicadores de produtividade em empresas construtoras na cidade de Maceió?”

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1 Objetivo geral

Esse trabalho possui o objetivo geral “Propor contribuições para coleta e análise de dados de indicadores de produtividade que permitam avaliar o desempenho de empreendimentos na construção civil”.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- (i) identificar as dificuldades de implementação de indicadores de produtividade na construção civil;
- (ii) selecionar e testar métodos de análise para as variáveis coletadas;
- (iii) identificar oportunidades de melhoria na coleta e no armazenamento dos indicadores de produtividade.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Os dados de indicadores de produtividade foram enviados mensalmente pelas empresas por e-mail através de planilhas eletrônicas e posteriormente pelo *site* desenvolvido pelo Grupo. Este trabalho foi realizado a partir de dados de indicadores de produtividade dos serviços de alvenaria, reboco interno, contrapiso, revestimento interno, concreto-fôrma, concreto-armadura

e concreto-concretagem. Os dados analisados foram coletados nos anos de 2018, 2019 e 2020 em onze empresas construtoras atuantes na cidade de Maceió/AL.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo deste trabalho de conclusão de curso apresentará a introdução, contendo contextualização e justificativa do trabalho, a questão da pesquisa, os objetivos e a delimitação do estudo.

O capítulo dois irá apresentar o referencial teórico, onde constarão os conceitos de medição e indicadores de desempenho e de *benchmarking* na construção civil, bem como o mapeamento sistemático da literatura.

O terceiro capítulo irá tratar sobre a metodologia de pesquisa, sendo assim, irá detalhar a estratégia e o delineamento da pesquisa.

O quarto capítulo irá apresentar os resultados e discussões sobre a coleta e análise de indicadores de produtividade utilizando métodos estatísticos e as contribuições para a coleta e análise dos indicadores.

O quinto capítulo irá abordar as considerações finais deste trabalho, para identificar se os objetivos foram atendidos.

Por fim, serão apresentadas as referências utilizadas no trabalho e os apêndices.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o levantamento da literatura que concede suporte a este trabalho foram utilizados, de forma preliminar, dois textos clássicos de estudo, intencionalmente selecionados: os trabalhos desenvolvidos por Lauri Koskela, principal responsável pela formulação da filosofia *Lean Construction*, fundamentada no Sistema Toyota de Produção, e os materiais de estudo desenvolvidos pelo Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em especial as publicações dos trabalhos realizados por Carlos Torres Formoso e Dayana Bastos Costa.

A partir desses dois trabalhos clássicos, abordando contextos internacional e nacional, foi conduzido um mapeamento sistemático de literatura simplificado (MS) para obtenção de artigos indexados em base de periódicos. O MS é um método utilizado para a realização de uma revisão sistemática da literatura, em determinada área de estudo, permitindo a identificação, avaliação e interpretação crítica da pesquisa de forma sistemática e transparente (NETO *et al.*, 2011).

Para Kitchenham (2004), o MS é um método para identificar, avaliar e interpretar pesquisas que sejam relevantes para determinada área de estudo. Além disso, ele destaca que a realização de um MS possibilita a síntese de evidências em relação a determinado fenômeno de objeto de estudo, podendo fornecer uma visão geral, identificar lacunas e fazer orientações para futuras pesquisas em determinado campo de estudo. A partir do MS, foi desenvolvido o referencial teórico base para este trabalho.

Portanto, este capítulo abordará os conceitos básicos de medição e indicadores de desempenho, produtividade e *benchmarking* obtidos a partir dos dois trabalhos clássicos e o resultado do MS conduzido.

2.1 MEDIÇÃO E INDICADORES DE DESEMPENHO

O termo medição de desempenho ganhou notoriedade após os estudos de Lauri Koskela na década de 1990, quando o pesquisador propôs a aplicação de conceitos e práticas da produção enxuta na construção civil. A medição de desempenho é um processo sistemático de coleta e análise de dados, e na construção civil esse processo pode ser utilizado para avaliar o desempenho de um projeto, uma obra ou uma empresa em relação aos objetivos estratégicos, sendo uma ferramenta fundamental para aumentar a produtividade (KOSKELA, 1992).

Koskela (1992) destaca que a medição de desempenho deve ir além da análise de indicadores financeiros, sendo importante avaliar tempo de ciclo e produtividade, que são indicadores que influenciam diretamente no desempenho da produção, bem como incluir a

avaliação de aspectos qualitativos como a satisfação do cliente. Para Radujkovic *et al.* (2010) a medição e a análise de indicadores de produtividade possibilitam que as empresas identifiquem pontos de melhoria em todo o ciclo produtivo, e a partir disso criem estratégias para aumentar a eficiência e reduzir os custos.

Para identificar problemas e virtudes nos processos de uma empresa, é necessário mensurar de forma realista seu desempenho, para isto existe a gestão da qualidade, que por meio de sistemas de medição de desempenho, desenvolve um conjunto de medidas que objetivam a melhoria contínua com foco na satisfação do cliente. A implantação de programas de qualidade ganhou notoriedade a partir de 1990, quando um número significativo de construtoras passou a implementar programas de qualidade e de práticas para aumento da produtividade nos canteiros de obras (HEINECK *et al.*, 2002).

A medição de desempenho pode ser feita com o uso de indicadores de desempenho, os quais, quando alinhados à política da empresa auxiliam a atingir seus objetivos e as expectativas do mercado. O alinhamento dos indicadores com o planejamento estratégico da empresa possibilita que a empresa mensure a performance geral e busca solucionar os processos críticos estabelecidos pela alta direção (COSTA, 2003).

Os indicadores de desempenho são medidas quantitativas que permitem avaliar o desempenho de um projeto, processo ou atividade em relação aos objetivos estabelecidos, eles podem ser utilizados para identificar pontos fortes e fracos, possibilitando a tomada de decisão baseada em dados concretos (NASIR *et al.*, 2012). No contexto da construção civil, os indicadores de desempenho podem incluir métricas como produtividade, qualidade, custo e segurança.

Para Cox *et al.* (2003) a definição de indicadores de desempenho é essencial para analisar o desempenho de uma empresa. Os autores destacam a importância da alta administração no processo de definição dos indicadores-chaves (KPIs), e identificaram que os indicadores mais utilizados pelas empresas são os de custo, prazo, qualidade e segurança, no entanto, existem diversos tipos de indicadores, e a seleção de quais serão coletados e analisados depende dos objetivos da empresa e da cultura organizacional, por isso a importância dos gestores nessa seleção.

Segundo Moradi *et al.* (2022), a identificação e utilização dos indicadores-chaves são fundamentais para a gestão de desempenho na construção civil, no entanto a literatura existente sobre KPI neste setor ainda apresenta limitações relacionadas à falta de consenso sobre quais são os KPI mais importantes e de que forma podem ser calculados. Por isso, existe a necessidade de pesquisas futuras que tenham como foco a definição mais padronizada dos indicadores-

chaves na área de gestão de desempenho. No canteiro de obras, os indicadores são fundamentais, porque diferente de uma produção em massa, os produtos da construção civil são produções únicas, quase que sem repetições, suas variáveis podem interferir diretamente no resultado do produto final e conseqüentemente afetar a satisfação do cliente.

Com o objetivo de acompanhar e implementar boas práticas, os indicadores auxiliam na tomada de decisões e na avaliação de desempenho de serviços para todas as etapas de um projeto atual ou futuro (COSTA *et al.*, 2005). Por exemplo, após a finalização de uma obra, que possuía indicadores de desempenho, a empresa possui um índice de produtividade relacionado aos serviços, caso esta deseje seguir o mesmo índice para a obra futura, pode utilizar a base de dados do empreendimento anterior, estabelecendo a mesma quantidade de funcionários para execução do serviço, se este seguir características principais semelhantes.

Um dos principais indicadores utilizados na construção civil, é o indicador de produtividade, que de acordo com Lantelme (1994), apresenta a eficiência do processo em atingir os resultados previstos. Para realizar a medição existe a Razão Unitária de Produção (RUP), ferramenta que consiste na razão entre a hora homem trabalhada e a quantidade de serviço (SOUZA, 2000). Na RUP, quanto menor o valor encontrado, maior é a produtividade, pois mais serviço foi realizado em um intervalo menor de tempo. No caso da pesquisa desenvolvida pela autora do presente trabalho, a Razão Unitária de Produção foi a ferramenta de medição selecionada.

A padronização da medição de produtividade é fundamental, pois um dos principais desafios da análise de produtividade nas empresas está relacionado ao processo de coleta, que pode ser influenciado por fatores externos como mudanças na força de trabalho e no local de trabalho (ASSAAD; EL-ADAWAY, 2021). Por isso, é importante definir previamente a ferramenta que será utilizada para a medição, e realizar o treinamento necessário com todos os funcionários que participarão direta e indiretamente nos processos de coleta e análise dos indicadores, para alinhar e padronizar as duas etapas.

As novas tecnologias da indústria 4.0 podem auxiliar as empresas na coleta e análise dos dados de desempenho, ao facilitar o desenvolvimento de estratégias para melhorar a eficiência nos processos construtivos (DANEL *et al.*, 2021). Moradi *et al.* (2022) também destacam que o desenvolvimento tecnológico pode influenciar em novas formas de coleta e de análise de dados e reforçam sobre a utilização efetiva de KPI na gestão de desempenho. O uso das novas tecnologias, como drones, *sites*, aplicativos, sensores, entre outros, tanto para coleta quanto para análise podem facilitar a medição de desempenho no setor da construção.

2.2 BENCHMARKING NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O *benchmarking* é um processo contínuo de avaliação comparativa, que consiste em medir e comparar práticas similares com o objetivo de identificar oportunidades para melhoria contínua, podendo ser utilizado em produtos, serviços e processos internos de uma empresa (CAMP, 2002). O *benchmarking* está diretamente ligado à medição de desempenho e proporciona diversos benefícios para as empresas, pois quando utilizado de forma contínua permite a análise e melhora dos processos chaves, identificando áreas com possíveis deficiências e monitorando as melhorias implementadas (ZHANG *et al.*, 2017)

A adoção de um *benchmarking* bem estruturado permite que as empresas obtenham informações importantes sobre seus próprios processos e melhorem sua eficiência, mas para isso, é necessário o comprometimento da alta administração, planejamento cuidadoso e boa comunicação interna (EL-MASHALEH *et al.*, 2007). Segundo os autores, a implementação de um sistema de *benchmarking* bem estruturado envolve as seguintes etapas:

- (i) definição clara dos objetivos do *benchmarking* e dos indicadores a serem comparados;
- (ii) seleção de empresas para comparação que possuam processos semelhantes e que sejam relevantes para a empresa que está implementando o *benchmarking*;
- (iii) coleta e análise dos dados relevantes para os indicadores selecionados, tanto da empresa que está implementando o *benchmarking* quanto das empresas comparadas;
- (iv) identificação das práticas e processos mais eficientes e eficazes das empresas comparadas;
- (v) desenvolvimento e implementação de planos de ação para incorporar as melhores práticas identificadas;
- (vi) monitoramento contínuo do desempenho e dos processos da empresa para garantir que os planos de ação estejam sendo implementados e que as melhorias desejadas estejam sendo alcançadas.

Para Zhang *et al.* (2017), um modelo de *benchmarking* interno personalizado tende a obter resultados melhores do que um modelo genérico, tendo em vista que considera as especificidades de cada empresa, seus processos construtivos e sua cultura organizacional. Os autores também afirmam que além de melhorar a eficiência e a produtividade, o *benchmarking* identifica as áreas das empresas que apresentaram baixo desempenho, dessa forma as estratégias podem ser direcionadas para áreas ou processos específicos, seguindo os objetivos

e necessidades destacadas pelos gestores. Na construção civil, a implementação do *benchmarking* é muito útil na identificação de melhorias nos processos de produção, por fornecer soluções práticas para as construtoras que objetivam melhorar sua competitividade no setor (LEE; GRAVES, 2000).

Em seus estudos, Park *et al.* (2005) concluíram que o *benchmarking* é uma ferramenta útil para avaliar e melhorar a produtividade na construção civil quando utilizada para comparar o desempenho de projetos similares, sendo fundamental a coleta de análise dos indicadores de produtividade para promover um *benchmarking* efetivo. Além disso, destacam que é necessário avaliar e considerar os fatores específicos para cada processo, pois só assim, será possível realizar uma comparação justa e precisa.

Para Nasir *et al.* (2012), a implementação do *benchmarking* e de métricas para a melhoria da produtividade pode proporcionar benefícios significativos para as construtoras e contribuir com a redução de custos e prazos. Os autores também destacam que a coleta e a análise de indicadores de produtividade podem ser realizadas de forma mais eficiente quando aliadas ao *benchmarking*, por promover a identificação de boas práticas, sendo isto um importante fator de diferenciação entre construtoras, por permitir a evolução de práticas e processos no setor da construção.

Para auxiliar as empresas do setor da construção civil a avaliar e melhorar seu desempenho estratégico Ercan e Koksall (2016) desenvolveram o *Competitive Strategic Performance Benchmarking* (CSPB), um modelo que utiliza uma abordagem sistemática de *benchmarking* para coleta e análise de dados. A partir desse modelo é possível estabelecer indicadores de desempenho, os quais permitem a avaliação comparativa da empresa com seus concorrentes. O modelo CSPB consiste em quatro fases, são elas:

- (i) determinação do escopo e das métricas de desempenho: nesta fase, a empresa define o escopo da análise e as métricas de desempenho que serão utilizadas para avaliar o desempenho estratégico;
- (ii) coleta e análise de dados: nesta fase, a empresa coleta dados relevantes de seus concorrentes e realiza uma análise comparativa;
- (iii) identificação de oportunidades de melhoria: com base nos resultados da análise comparativa, a empresa identifica oportunidades de melhoria em relação a seus concorrentes e define estratégias para melhorar seu desempenho estratégico;
- (iv) implementação das estratégias: nesta fase, a empresa implementa as estratégias definidas na fase anterior e monitora os resultados para garantir que as melhorias desejadas sejam alcançadas.

O *benchmarking* tem sido difundido mundialmente e diversas são as iniciativas no setor da construção civil, com o objetivo de comparar resultados e gerar o compartilhamento de boas práticas, gerenciais ou tecnológicas, as quais vêm sendo realizadas através de Clubes de *Benchmarking*. Costa e Formoso (2010) destacam que os clubes de *benchmarking* estabelecem uma rede de ligação entre as empresas participantes e podem ser compostos por representantes da alta, média e baixa gerência das empresas.

A implementação de um processo de *benchmarking* está intrinsecamente associada ao desenvolvimento de práticas de medição de desempenho, pois ao realizar a análise comparativa e identificar as melhores práticas da organização em si, e das demais organizações participantes do *benchmarking* colaborativo é possível implementar práticas da medição de desempenho responsáveis por aperfeiçoar os resultados da empresa (COSTA; FORMOSO, 2010). No Brasil, algumas bases de dados são utilizadas como parâmetro pelos clubes de *benchmarking*, como a Tabela de Composições e Preços para Orçamentos da Editora Pini (TCPO/Pini).

Neste referencial teórico foram apresentados os trabalhos dos principais autores nacionais e internacionais da área de indicadores de desempenho aliada à prática do *benchmarking*, com o objetivo de validar a importância da coleta e análise de indicadores de produtividade em empresas construtoras, bem como a necessidade de padronização de processos e utilização de práticas como o *benchmarking*. Dessa forma, este trabalho busca contribuir para a melhoria da eficiência e competitividade do setor de construção civil, fornecendo um referencial teórico sólido para a coleta e análise de indicadores de produtividade em empresas construtoras.

O Quadro 1 apresenta, em ordem cronológica, os autores e trabalhos do mapeamento sistemático extraídos da ferramenta *Web of Science*TM, utilizados neste referencial teórico.

Quadro 1 – Artigos de maior aderência ao tema da pesquisa

Autor	Título	Revista	Ano
Lee, SJ; Graves, AP	Benchmarking production processes in civil engineering	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-CIVIL ENGINEERING	2000
Akintoye, A; Chinyio, E	Construction industry benchmark of key performance indicators	CONSTRUCTION INNOVATION AND GLOBAL COMPETITIVENESS, VOLS 1 AND 2: THE ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF	2003

		CONSTRUCTION	
Cox, RF; Issa, RRA; Ahrens, D	Management's perception of key performance indicators for construction	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE	2003
Park, HS; Thomas, SR; Tucker, RL	Benchmarking of construction productivity	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT	2005
El-Mashaleh, MS; Minchin, RE; O'Brien, WJ	Management of construction firm performance using benchmarking	JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING	2007
Radujkovic, M; Vukomanovic, M; Dunovic, IB	Application of key performance indicators in south-eastern european construction	JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT	2010
Horta, IM; Camanho, AS; Da Costa, JM	Performance Assessment of Construction Companies Integrating Key Performance Indicators and Data Envelopment Analysis	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE	2010
Nasir, H; Haas, CT; Rankin, JH; Fayek, AR; Forgues, D; Ruwanpura, J	Development and implementation of a benchmarking and metrics program for construction performance and productivity improvement	CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	2012
Ercan, T; Koksall, A	Competitive Strategic Performance Benchmarking (CSPB) Model for International Construction Companies	KSCE JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	2016
Zhang, D; Nasir, H; Haas, CT	Development of an internal benchmarking and metrics model for industrial construction enterprises for productivity improvement	CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	2019
Assaad, R; El-adaway, IH	Impact of Dynamic Workforce and Workplace Variables on the Productivity of the Construction Industry: New Gross Construction Productivity Indicator	JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING	2021
Danel, T; Lafhaj, Z; Puppala, A; Lienard, S; Richard, P	Proposal for Tower Crane Productivity Indicators Based on Data Analysis in the Era of Construction 4.0	BUILDINGS	2021
Moradi, S; Ansari, R; Taherkhani, R	A Systematic Analysis of Construction Performance Management: Key	IRANIAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY-	2022

	Performance Indicators from 2000 to 2020	TRANSACTIONS OF CIVIL ENGINEERING	
--	---	--------------------------------------	--

Fonte: Autora (2023)

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este item abordará os aspectos referentes à metodologia utilizada na pesquisa desenvolvida neste trabalho, bem como, as etapas que delinearão o estudo.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Para definir qual método de pesquisa seria utilizado, foi realizada uma análise dos métodos propostos por YIN (2015), que em seus estudos, desenvolveu o Quadro 2 com condicionantes que guiam o pesquisador ao método mais indicado, de acordo com a ideia de cada projeto.

Quadro 2 - Situações relevantes para diferentes métodos de pesquisa

Método	(1) Forma de questão de pesquisa	(2) Exige controle dos eventos comportamentais?	(3) Enfoca eventos contemporâneos?
Experimento	Como, por quê?	Sim	Sim
Levantamento (survey)	Quem, o quê, onde, quantos, quanto?	Não	Sim
Análise de arquivos	Quem, o quê, onde, quantos, quanto?	Não	Sim/Não
Pesquisa histórica	Como, por quê?	Não	Não
Estudo de caso	Como, por quê?	Não	Sim

Fonte: YIN (2015)

Baseado na escolha de métodos da Quadro 2, a estratégia de pesquisa selecionada foi a análise de arquivos, tendo em vista que o presente trabalho consiste na análise dos dados de indicadores de produtividade em empresas construtoras. De acordo com YIN (2015), a análise de arquivos exige que diversas dúvidas sejam abordadas na questão de pesquisa, mas não exige o controle de eventos comportamentais e pode variar a necessidade de enfoque em eventos contemporâneos.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para alcançar os objetivos descritos e visando facilitar o entendimento da forma como a pesquisa foi realizada, é apresentado na Figura 1 um fluxograma que representa o delineamento da pesquisa que resultou no presente trabalho. Nos itens seguintes é feita a descrição de cada uma das etapas apresentadas.

Figura 1 - Fluxograma de atividades da pesquisa



Fonte: Autora (2023)

3.2.1 Mapeamento sistemático da literatura

O mapeamento sistemático desenvolvido neste trabalho foi realizado por meio da ferramenta de indexação de periódicos *Web of Science™*, uma das principais bases de artigos científicos, com ampla variedade de bases de dados, com indexação de periódicos nacionais e internacionais, com citações de artigos, livros, patentes e outras importantes fontes. Muito utilizada por profissionais e estudiosos, por possuir informações relevantes e atualizadas de diversas áreas, como arquitetura, engenharias e administração.

Seguindo o protocolo de Kitchenham (2004) e Kitchenham *et al.* (2006), como parte do MS foi determinada uma *string* de busca (palavras-chaves) que atendessem aos objetivos do

mapeamento sistemático. Essas palavras-chaves foram retiradas dos dois textos clássicos do estudo realizado inicialmente. Após a definição das palavras-chaves, procedeu-se as análises utilizando a ferramenta *Web of Science*TM para a determinação de uma *string* de busca satisfatória. Neste MS, foram levantados estudos publicados ao longo de anos, que abordam medição de desempenho, indicadores de produtividade e *benchmarking* na construção civil, e a partir disso foi desenvolvida uma *string* de busca – ST. A eq. (1) final das ST, inserida na plataforma *Web of Science*TM foi:

$$ST = \{("construction" OR "civil engineering" OR "AEC") AND ("bench * " OR "indicator * ") AND ("productivity" OR "production" OR "performance")\} \quad (1)$$

A criação da *string* permite a seleção de artigos de forma mais precisa, já atendendo a critérios de seleção, inclusão e exclusão realizados pela própria ferramenta *Web of Science*TM, no entanto é necessário realizar uma análise qualitativa antes da leitura de todos os artigos, para assim selecionar realmente os artigos que estejam mais alinhados ao tema da pesquisa. A pesquisa é realizada com uso de parênteses (“”) pois isso faz com que a busca seja por agrupamento, dessa forma, uma palavra chave composta, retorna apenas os documentos com a frase exata. Além disso, outra estratégia é a adição do símbolo asterisco (*) que permite o retorno de palavras tanto no plural quanto no singular.

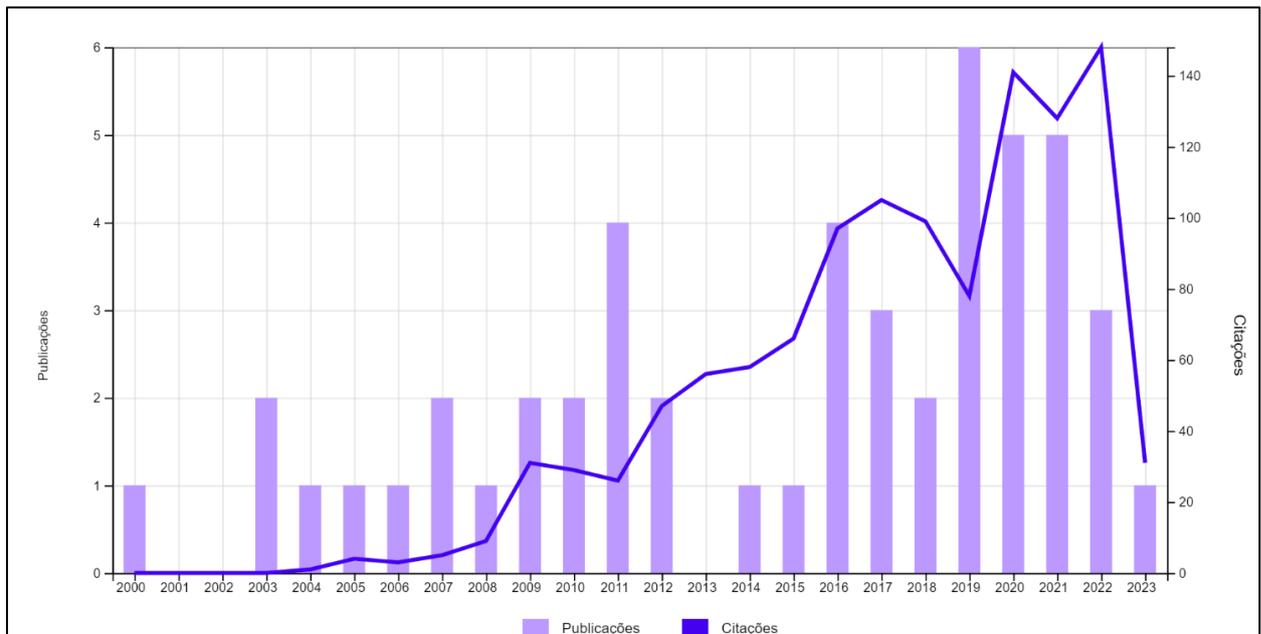
Foram utilizados critérios de restrição na seleção dos artigos, sendo o principal, a escolha apenas de trabalhos nas categorias da *Web Of Science, Engineering Civil e Construction Building Technology*. Os artigos foram então exportados para uma planilha eletrônica do Microsoft Excel para a contagem e obtenção dos dados dos artigos extraídos, totalizando cinquenta artigos extraídos.

Após a seleção, que consistiu na leitura transversal dos títulos e em seguida, leitura dos resumos, treze artigos de grande aderência ao tema foram utilizados para o estudo, os quais estão apresentados no Quadro 1 da seção de referencial teórico. Na planilha eletrônica, foram classificados em vermelho, os títulos dos artigos que não foram selecionados para a etapa seguinte, os quais correspondem a quinze artigos (30% da amostra), que embora tenham atendido às premissas determinadas na etapa de condução do MS, tinham como foco principal o estudo de indicadores de projetos e de sustentabilidade.

3.2.1.1 Estado da arte sobre indicadores de produtividade associados à prática do *benchmarking* na construção civil

Na Figura 2, extraída da ferramenta *Web of Science*TM é possível visualizar que as publicações aumentaram nos últimos anos, comprovando a importância do tema de indicadores de produtividade associados à prática do *benchmarking* no setor da construção civil. Em 2011 as publicações foram expressivas, porém perderam força nos anos seguintes, mas a partir de 2016 as publicações aumentaram consideravelmente, tendo destaque o ano de 2019, com maior número de publicações desde os anos 2000.

Figura 2 - Evolução da quantidade de artigos publicados e de citações sobre indicadores de produtividade associados à prática do *benchmarking* na construção civil ao longo dos anos (2000-2023)



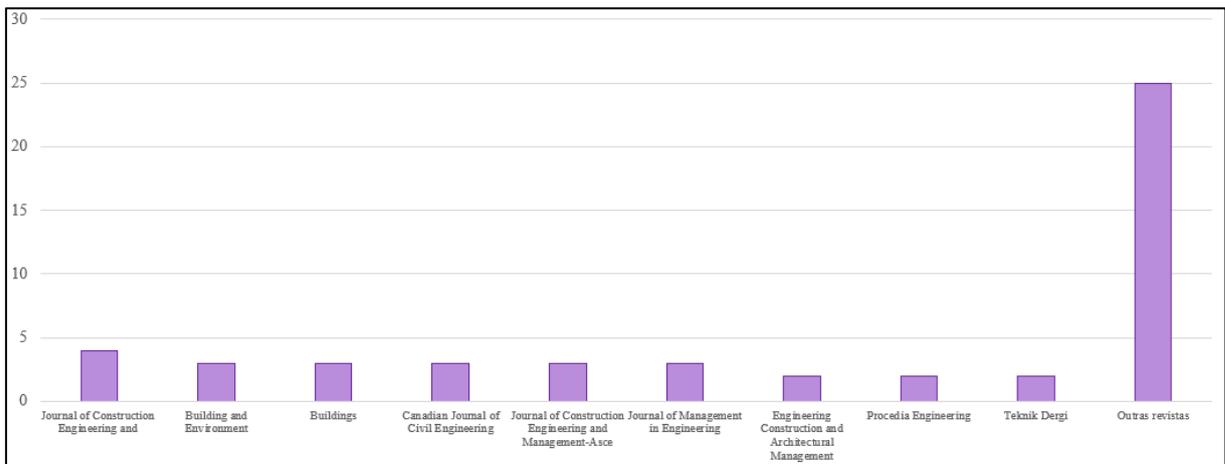
Fonte: Autora (2023)

As citações sobre o tema aumentaram ao longo dos anos, e em 2022 ocorreram mais de cento e quarenta citações sobre o tema. Ao todo, desde os anos 2000 são mil cento e sessenta e duas citações, sendo o artigo “*Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability - a South African construction industry perspective*” escrito por Ugwu e Haupt, e publicado em 2007, o mais citado, com duzentas e onze citações, seguido por “*Management's perception of key performance indicators for construction*” escrito por Cox *et al.*, e publicado em 2003, com cento e noventa e duas citações.

Dentre as revistas científicas analisadas e apresentadas na Figura 3, a *Journal of*

Construction Engineering and Management se destacou como a mais relevante, com quatro artigos publicados, seguida por outras cinco revistas com três artigos cada publicados, são elas: *Building and Environment*, *Buildings*, *Canadian Journal of Civil Engineering*, *Journal of Construction Engineering and Management-Asce* e *Journal of Management in Engineering*. Juntas, essas seis revistas representam 38% das publicações sobre o tema.

Figura 3 - Revistas com a maior quantidade de artigos publicados que abordam questões relacionadas a indicadores de produtividade associados à prática do *benchmarking* na construção civil



Fonte: Autora (2023)

Durante a análise dos artigos relacionados ao tema, identificaram-se seis pesquisadores que são referência na área, sendo Chan APC. (*Hong Kong Polytech Univ*, China), o autor com maior número de publicações, totalizando três artigos, seguido dos autores Budayan (*Yildiz Technical University*, Turquia), Chan DWM. (*Hong Kong Polytech Univ*, China), Haas (*Univ Waterloo*, Canadá), Habibi (*Univ Texas Arlington*, Estados Unidos), Kermanshachi (*Univ Texas Arlington*, Estados Unidos), Lafhaj (*Univ Lille*, França) e Nasir (*Univ Waterloo*, Canadá), com duas publicações cada.

3.2.2 Análise documental das reuniões com o grupo de *benchmarking* e visitas técnicas às obras

Foram objetos de análise as atas das reuniões e os documentos gerados das visitas técnicas oriundas do Clube de *benchmarking*. Esses documentos encontram-se em três locais diferentes, são eles, o *e-mail* do Grupo, o *Google Drive* e o *Dropbox*. Em geral, os três locais possuem os principais documentos utilizados, de forma replicada, no entanto, dependendo do tipo de documentação, pode estar em um local específico.

Segue breve descrição sobre as informações contidas em cada um dos locais para a

análise documental de arquivos. É importante destacar que a escolha de onde alocar os documentos foi realizada no início da construção do Grupo, com o objetivo de evitar perdas e garantir a confidencialidade dos dados das empresas participantes.

- i) *e-mail*: no *e-mail*, é possível encontrar todas as conversas com os responsáveis pelas obras, as apresentações na Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas (ADEMI-AL), os relatórios desenvolvidos e os projetos de cada empreendimento. O acesso às conversas com os responsáveis pelas obras permitiu identificar as datas de visitas e as solicitações mensais de envio de dados, no entanto, identificou-se em alguns relatórios, visitas realizadas que não estavam marcadas por *e-mail*, o que sugere que a visita tenha sido agendada apenas por contato telefônico. Além disso, a partir dos relatórios enviados para a Ademi-AL e para a professora orientadora do Grupo, foi possível identificar os problemas de coleta que ocorreram em alguns empreendimentos especificamente, pois o relatório de acompanhamento detalhava as visitas que foram realizadas, a incompatibilidade de dados, as dificuldades de contato com gestores e os treinamentos realizados. Os empreendimentos realizavam o envio dos projetos utilizados para a execução, os quais eram compartilhados também com o *Google Drive* do *e-mail* da pesquisa;
- ii) *Google drive*: as principais informações contidas no *Google Drive* são relacionadas aos projetos enviados por cada construtora. Esses projetos eram enviados quando um novo empreendimento entrava para o Clube, e alocados em uma pasta com o nome do empreendimento. Em geral, eram enviados projetos arquitetônicos, estruturais, hidrossanitários e elétricos. Além disso, também encontram-se os documentos editáveis e finalizados dos relatórios parciais e finais e as descrições de visitas. Como em geral, o Grupo possuía mais de um pesquisador, para realizar a edição em conjunto dos documentos, eles eram inseridos no *Google Drive* e editados pelos pesquisadores participantes;
- iii) *Dropbox*: o *Dropbox* é uma plataforma de armazenamento semelhante ao *Google Drive* e juntos, ambos eram utilizados para o armazenamento de todas as informações, documentos e projetos da pesquisa, para garantir que todos os documentos estariam armazenados e evitar perdas. No *Dropbox* as principais informações são referentes às planilhas de indicadores e índices, a caracterização dos empreendimentos participantes, os relatórios de acompanhamento, os projetos, e os modelos de todas as apresentações realizadas na Ademi-AL. O

contato dos gestores, as informações sobre incoerência dos dados e os relatórios contendo a descrição das reuniões realizadas com o Clube também estão registradas no *Dropbox*. Além disso, também é possível visualizar a cartilha desenvolvida pelo Grupo, em formato editável e em formato finalizado, as informações de acesso ao *site* e o formulário de envio que os empreendimentos utilizavam para registrar os dados mensais de coleta dos indicadores.

3.2.3 Coleta dos indicadores das empresas do Clube de *benchmarking*

A etapa de levantamento dos dados buscou resgatar o maior número de indicadores de produtividade e de caracterização das obras. Esses registros tiveram origem nas pesquisas anteriores com a participação da ADEMI/UFRGS/UFAL, no banco de dados do Clube de *benchmarking* e nas empresas que armazenaram essas medidas.

3.2.3.1 Atividades desenvolvidas pelo Clube de *benchmarking*

O Grupo de Pesquisa em Gestão e Economia da Construção originou o Grupo de Pesquisa Indicadores para *Benchmarking*, por meio de uma parceria da UFAL com a ADEMI – AL e as construtoras associadas à ADEMI-AL. Com o grupo formado, foram criadas reuniões periódicas para definir quais seriam os indicadores analisados pelo grupo, na época foram selecionados indicadores de produtividade, projetos e sustentabilidade, no entanto, posteriormente, as empresas optaram por focar nos indicadores de produtividade, no qual baseia-se o presente trabalho.

Com os indicadores definidos, iniciaram as visitas às obras para instruir os colaboradores sobre o funcionamento da pesquisa, e realizar o treinamento de coleta de dados, assim, as empresas estariam alinhadas na forma adequada de coleta dos dados, evitando índices muito divergentes. Essas reuniões aconteceram com o intuito de gerar discussões para a escolha dos indicadores mais relevantes para essas empresas e na definição dos procedimentos de coleta de dados.

Com os dados coletados, os pesquisadores realizavam a análise e apresentavam na reunião do Grupo, no qual todas as empresas discorriam sobre os resultados, sobre melhorias e casos de sucesso, dessa forma o *benchmarking* foi se desenvolvendo, e a construção civil no Estado foi fortalecendo o compartilhamento de boas práticas. O trabalho atual é referente aos três últimos ciclos do grupo de pesquisa, o qual foi realizado com um grupo de onze empresas do subsetor da construção civil atuantes na região metropolitana de Maceió/AL, apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Categorização das construtoras e dos empreendimentos estudados

Código da Construtora	Área de Atuação da Construtora	Ano de Fundação
C1-A	Construção e incorporação de imóveis residenciais	2005
C2-B	Construção de empreendimentos imobiliários	1994
C3-C	Construção e incorporação de imóveis residenciais	2010
C4-D	Construção e incorporação de imóveis residenciais	1982
C5-E	Construção de empreendimentos imobiliários	1986
C6-F	Construção e incorporação de imóveis residenciais e comerciais	1988
C7-G	Construção e incorporação de imóveis residenciais e comerciais	1955
C8-H	Infraestrutura, expansão urbana e construção de empreendimentos residenciais e comerciais	1997
C9-I	Construção e incorporação de empreendimentos residenciais e comerciais	1984
C10-J	Construção de imóveis residenciais	1988
C11-K	Construção e incorporação de imóveis residenciais	1989

Fonte: adaptado de Weber *et al.* (2022)

3.2.3.2 Indicadores de Produtividade

No Clube de *benchmarking* o estudo era referente a indicadores de desempenho, que abrangiam desde indicadores de produtividade, a indicadores de projeto e de sustentabilidade. Após diversos ciclos do Clube, as construtoras solicitaram que o foco fosse nos indicadores de produtividade, apresentados no Quadro 4, pois dessa forma seria possível buscar melhores estratégias para ampliar os índices de desempenho em serviços diretamente ligados ao desenvolvimento das obras.

Utiliza-se como parâmetro para calcular os indicadores de produtividade, a Razão Unitária de Produção (RUP), apresentada na eq. (2).

$$RUP = \frac{Hh}{Q_{serv}} \quad (2)$$

Onde:

Hh: hora efetivamente trabalhada de mão de obra direta

Q_{serv} : quantidade de serviço para qual se está calculando a RUP

Quadro 4 – Indicadores de produtividade

Indicador	Descrição e Formulação	Legenda
Alvenaria	<p>Tem por objetivo medir a eficiência da produção de alvenaria executada em obra.</p> $IP_{alv} = \frac{Hh}{Q_{serv}} (Hh/m^2)$	<p>IP_{alv} – Indicador de produtividade da execução de alvenaria.</p> <p>Hh – Número total de horas trabalhadas para execução do serviço. Considerar as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço.</p> <p>Q_{serv} – Para a alvenaria é utilizada a área total executada, descontando todos os vãos.</p>
Reboco interno	<p>Tem por objetivo medir a eficiência da produção de reboco interno executado em obra.</p> $IP_{ri} = \frac{Hh}{Q_{serv}} (Hh/m^2)$	<p>IP_{ri} – Indicador de produtividade da execução de reboco da parte interna das edificações.</p> <p>Hh – Número total de horas trabalhadas para execução do serviço. Considerar as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço.</p> <p>Q_{serv} – Para o reboco são utilizados os perímetros das paredes multiplicados pelas alturas, descontando-se todos os vãos.</p>

Contrapiso	<p>Tem o objetivo de medir a eficiência da produção do contrapiso executado em obra.</p> $IP_{cp} = \frac{Hh}{Q_{serv}} (Hh/m^2)$	<p>IP_{cp} – Indicador de produtividade da execução de contrapiso das edificações.</p> <p>Hh – Número total de horas trabalhadas para execução do serviço. Considerar as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço.</p> <p>Q_{serv} – Para o contrapiso é calculado o somatório das áreas de piso coberto pela aplicação da argamassa.</p>
Revestimento interno	<p>Tem por objetivo medir a eficiência da produção do Revestimento de piso interno executado em obra</p> $IP_{rip} = \frac{Hh}{Q_{serv}} (Hh/m^2)$	<p>IP_{rip} – Indicador de produtividade da aplicação de revestimento dos pisos internos das edificações.</p> <p>Hh – Número total de horas trabalhadas para execução do serviço. Considerar as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço.</p> <p>Q_{serv} – Para o revestimento interno é calculado o somatório das áreas de piso onde foi aplicado o revestimento.</p>
Concreto-Fôrma	<p>Tem por objetivo medir a eficiência da utilização de formas para produção de concreto em obra.</p> $IP_{Cforma} = \frac{Hh}{Q_{serv}} (Hh/m^2)$	<p>IP_{Cforma} – Indicador de produtividade na utilização de formas para produção de concreto em obra. Os elementos produzidos incluem vigas, pilares e lajes.</p> <p>Hh – Número total de horas trabalhadas para execução do serviço. Considerar as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço.</p>

		<p>Q_{serv} – Para fôrmas são calculados o somatório das áreas das fôrmas utilizadas para produção dos elementos de concreto.</p>
<p>Concreto-Armadura</p>	<p>Tem por objetivo medir a eficiência da utilização de armadura de aço para produção de concreto em obra.</p> $IP_{Caço} = \frac{Hh}{Q_{serv}} (Hh/kg)$	<p>$IP_{Caço}$ – Indicador de produtividade na utilização de armadura de aço para produção de concreto em obra. Os elementos produzidos incluem vigas, pilares e lajes.</p> <p>Hh – Número total de horas trabalhadas para execução do serviço. Considerar as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço.</p> <p>Q_{serv} – O critério de mensuração é o somatório do peso em kg de aço para produção das armações dos elementos de concreto.</p>
<p>Concreto-Concretagem</p>	<p>Tem por objetivo medir a eficiência do processo de concretagem em obra.</p> $IP_{Cconc} = \frac{Hh}{Q_{serv}} (Hh/m^3)$	<p>IP_{Cconc} – Indicador de produtividade do processo de concretagem executado em obra. Os elementos produzidos incluem vigas, pilares e lajes.</p> <p>Hh – Número total de horas trabalhadas para execução do serviço. Considerar as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço.</p> <p>Q_{serv} – O critério de mensuração é o somatório do volume em m³ concreto utilizado para preenchimento dos elementos estruturais.</p>

3.2.3.3 Implementação de uma ferramenta computacional para melhorar a etapa de coleta

Para dar seguimento ao projeto, após o período de escolha dos indicadores e a elaboração dos procedimentos de coleta, foram programadas visitas às empresas e seus respectivos empreendimentos a fim de treinar seus funcionários designados para participar do projeto junto aos pesquisadores. Em cada visita era feita uma apresentação com os objetivos, definições e procedimentos do projeto. Após as apresentações e discussões sobre eventuais dúvidas, era realizado um reconhecimento dos procedimentos de coleta e análise de indicadores já existentes em cada empreendimento para que os mesmos pudessem ser adaptados conforme os moldes da pesquisa.

Ao final das visitas, era feito o reconhecimento, documentação das características de cada procedimento de coleta já existente e com os colaboradores alinhados à nova metodologia de coleta, era solicitado de cada responsável que enviassem aos pesquisadores os dados já coletados para futuro processamento e análise. Mensalmente as empresas preenchiam o Quadro 5 em planilha Microsoft Excel e enviavam para o *e-mail* da pesquisa.

Quadro 5 – Formulário de coleta de dados para cálculo de indicadores de caráter mensal

Formulário de Coleta de Dados para Cálculo de Indicadores de Caráter Mensal					
Empresa:			Obra:		
Data de coleta:			Referente ao mês de:		
Preenchido por:			Conferido por:		
Indicadores de Produtividade por Serviço					
Serviço	Dimensão (Bloco/Cerâmica)	Especificidade do Serviço	Qtd de horas totais	Qtd de Serviço	Qtd de Funcionários
Alvenaria (Hh/m ²)	Bloco cerâmico				
	Bloco de gesso				
	Bloco de concreto				
Reboco Interno (Hh/m ²)	Gesso				
	Argamassa				
Contrapiso (Hh/m ²)	Áreas secas				
	Áreas Molhadas				
Revestimento Piso Interno (Hh/m ²)	Piso				
	Parede				
Pintura	Interna				
	Externa				
Esquadria	Marco				
	Contramarco				
Concreto – Forma (Hh/m ²)	Madeira				
	Metálica				
	PVC				
Concreto – Armadura (HH/kg)	Cortado / Dobrado				
	Corta / Dobra in loco				
Concreto – Concretagem (Hh/m ³)					
Reboco Externo					
Indicadores de Consumo (Sustentabilidade)					
Item	Consumo Mensal			N° Trabalhadores	
Água					
Energia					
Resíduo					
Indicadores de Produção e Segurança					
Indicador	N° Acidentes			Total Horas Trabalhadas	
Taxa de Frequência de Acidentes					
Indicadores de Qualidade					
Indicador	Auditoria Interna			Auditoria Externa	
N° não conformidades em auditoria					
Indicadores de Projeto - Arquitetura					
Acirc	Apavt	Perímetro Parede		Espessura Parede	
Indicadores de Projeto – Instalações					
Instalação	Comprimento Tubulação			Quant. Pontos	
Elétrica					
Hidráulica					
Indicadores de Projeto – Estrutural					
Área real global	Aformas		Vol. Concreto		Peso Aço

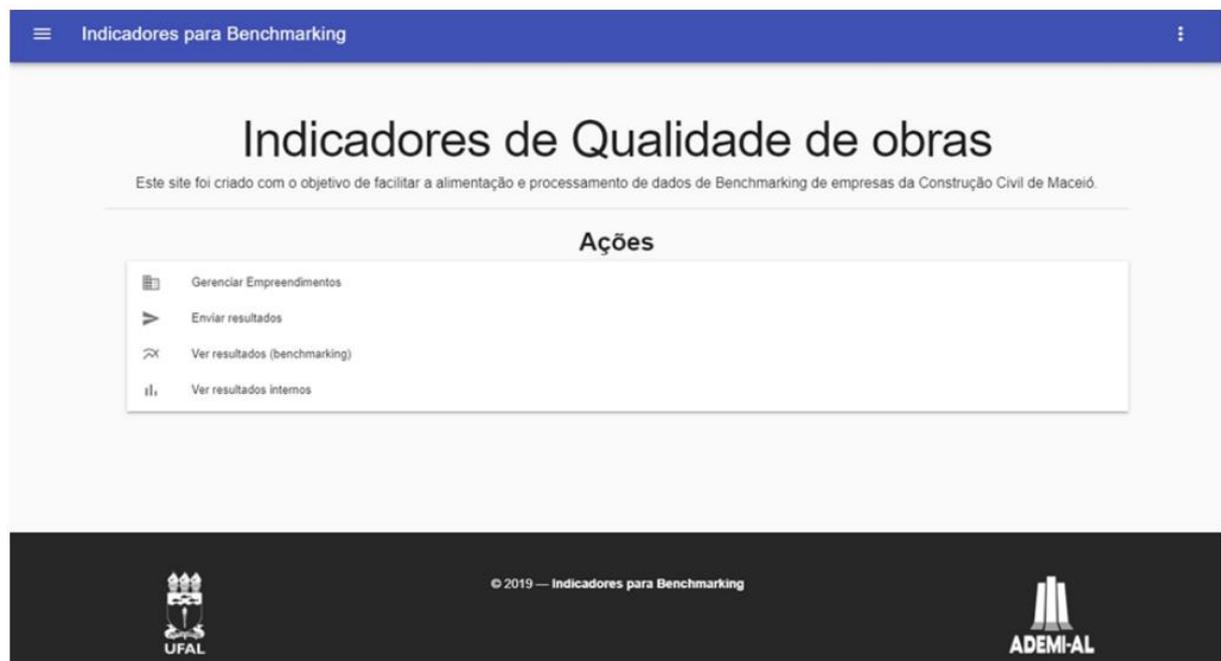
Fonte: adaptado de Silva (2017)

Com intuito de facilitar a coleta de dados e garantir o registro correto e definitivo dos dados foi criada uma plataforma remota, possibilitando a criação do *site* de indicadores de *benchmarking* (<https://ctec.ufal.br/projeto/sibcc/#/>). O *site*, apresentado na Figura 4, começou a ser utilizado a partir de outubro de 2019, substituindo as coletas que eram feitas através de planilhas. Assim, pôde-se otimizar as coletas de dados, visto que o *site* permitiu o

preenchimento dos dados de forma mais simplificada e dinâmica.

As análises dos dados são realizadas com o intuito de identificar as melhores e piores desenvolvimentos para cada indicador. Em seguida, os pesquisadores entravam em contato com a construtora responsável a fim de compreender os dados obtidos, seja ele positivo ou negativo. Por meio de reuniões bimestrais, todo esse levantamento era passado, de forma anônima, para os responsáveis técnicos de cada empreendimento, onde os melhores resultados são selecionados para contar suas boas práticas para o restante das empresas, fortalecendo a prática do *benchmarking* no setor da construção civil.

Figura 4 – Site de indicadores de qualidade de obras



Fonte: Indicadores de produtividade em empresas construtoras. Disponível em:

<https://ctec.ufal.br/projeto/sibcc/#/>. Acesso em: 15 mar. 2020

3.2.4 Processamento e análise do banco de dados

Esta etapa correspondeu a fase de preparação, na qual os indicadores foram organizados em uma única base de dados, sendo também tratados os valores espúrios e os dados faltantes. Foram selecionados e testados métodos de análise estatística baseados na inferência de dados, seguindo os métodos que atendiam às condicionantes de cada tipo de dado.

3.2.4.1 Levantamento dos dados

A etapa de levantamento de dados buscou resgatar o maior número possível de indicadores de produtividade e de boas práticas apresentadas pelas empresas durante às visitas aos empreendimentos e as reuniões do Clube de *benchmarking*. Os registros utilizados são do Grupo de Pesquisa em Gestão e Economia das Construções. A coleta ocorreu com três fases, apresentadas a seguir, nas quais variaram os tipos de indicadores e os empreendimentos participantes. Estes indicadores foram organizados em um banco de dados inicial para a avaliação dos índices, seleção e teste dos métodos de análise estatística e preparação dos gráficos comparativos.

- Ciclo de análise referente ao ano de 2018

A coleta de dados é um processo fundamental em qualquer pesquisa científica, e no campo da construção civil não é diferente. No presente trabalho, foram realizados três ciclos de coleta de dados, cada um com suas particularidades e objetivos específicos. Neste primeiro ciclo, os dados coletados diferem dos dados das fases posteriores, pois a caracterização dos indicadores era menor e não havia distinção entre os serviços de alvenaria, reboco e revestimento por materiais ou locais. Sete construtoras participaram deste primeiro ciclo, totalizando nove empreendimentos envolvidos na coleta de dados.

A coleta de dados foi realizada através dos formulários enviados por *e-mail* após visitas aos empreendimentos e treinamentos com os engenheiros e demais funcionários diretamente envolvidos no processo de coleta de dados. Foi enviado mensalmente um *e-mail* solicitando o envio do formulário contendo as informações necessárias para o cálculo de produtividade em cada serviço correspondente ao trabalho realizado no mês anterior. Durante as visitas e treinamentos, foram realizados registros fotográficos e elaborados relatórios de acompanhamento para garantir a qualidade e a confiabilidade dos dados coletados.

Os registros fotográficos e relatórios serviram como base para a verificação e validação dos dados, garantindo a precisão dos resultados obtidos. Este ciclo de coleta de dados foi fundamental para estabelecer as bases para a análise dos indicadores de produtividade no setor da construção civil. As reuniões do Clube de *benchmarking*, permitiram identificar já no primeiro ciclo os problemas de coleta mesmo após a realização dos treinamentos e a dificuldade de aceitação de alguns gestores na realização da coleta seguindo as orientações repassadas pelo Grupo nos treinamentos que aconteciam nas obras.

Os resultados obtidos no ciclo 1 foram essenciais para identificar os principais desafios

e oportunidades de melhoria nos processos construtivos. Além disso, o Clube de *benchmarking* em Indicadores para Produtividade foi consolidado com a realização de palestras e seminários em parceria com universidades renomadas, como a Universidade Federal da Bahia (UFBA) e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

As atividades realizadas pelo Clube foram fundamentais para a disseminação de conhecimentos e troca de experiências entre os participantes do Grupo e especialistas convidados. O seminário realizado com professores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o tema “Inovação em Engenharia e *Design*” realizado em 15 de outubro de 2018, ilustrado na Figura 5, também foi um evento importante para o ciclo 1 do Clube de *benchmarking*. Nesse evento, foram apresentadas inovações em tecnologia e *design* que poderiam ser aplicadas na construção civil, visando à melhoria da produtividade e redução de custos. Essa iniciativa promoveu a disseminação de novas ideias e práticas que poderiam ser implementadas pelas empresas participantes do grupo.

A palestra com a Prof.^a Dra. Dayana Bastos Costa, da Universidade Federal da Bahia, em 24 de novembro de 2018, abordou o tema “Clube de *Benchmarking* em indicadores para produtividade” ilustrado na Figura 6, apresentando a importância da utilização de indicadores para medir e comparar o desempenho de empresas do mesmo setor. Essa palestra foi uma oportunidade para os participantes do Grupo conhecerem as melhores práticas de empresas do setor da construção civil e aplicá-las em suas próprias empresas.

Em resumo, as palestras e seminários realizados pelo Clube de *benchmarking* no ciclo 1 foram essenciais para a troca de conhecimentos entre os participantes do Grupo e especialistas convidados. Essas iniciativas possibilitaram a disseminação de boas práticas e inovações no setor da construção civil, contribuindo para a melhoria da produtividade e eficiência nos processos construtivos. Assim, o ciclo 1 foi uma etapa importante para aprimorar o processo de coleta de dados e consolidar a pesquisa em indicadores de produtividade na construção civil.

Figura 5 – Seminário de Inovação em Engenharia e *Design*



Fonte: Autora (2018)

Figura 6 – Seminário de *Benchmarking* em Indicadores para Produtividade



Fonte: Autora (2018)

- Ciclo de análise referente ao ano de 2019

No segundo ciclo do projeto, houve um significativo aumento no número de construtoras e empreendimentos participantes, totalizando onze empresas e quinze empreendimentos, os quais recebiam visitas de acompanhamento regularmente, como ilustrado na Figura 7. Para aprimorar a análise dos dados coletados, alguns serviços foram subdivididos em mais categorias, possibilitando a distinção dos materiais utilizados e, assim, a obtenção de uma análise mais precisa dos indicadores de produtividade. O formulário utilizado para a coleta de dados passou a contar com maior detalhamento, permitindo a identificação de materiais e

locais de execução dos serviços.

Com a adaptação realizada no formulário de coleta foi possível distinguir os materiais utilizados, tendo em vista que isto interfere diretamente na análise do indicador, por exemplo, a realização de reboco interno com argamassa possui características de execução diferentes do reboco interno realizado com gesso, o que interfere na hora homem trabalhada e na quantidade de serviço. Com a especificação dos materiais e locais as coletas passaram a ser mais precisas.

Com o objetivo de proporcionar o crescimento contínuo do Clube de *benchmarking*, foram implementadas novas atividades ao final do ciclo de 2019, baseadas em *feedbacks* de gestores, da Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas (ADEMI-AL) e dos próprios pesquisadores envolvidos na pesquisa. Essas atividades tiveram impacto positivo na aceitação dos gestores e na consolidação do grupo. A fim de garantir a precisão cada vez maior no processo de coleta de dados, o Grupo desenvolveu uma plataforma *online* de fácil acesso e visualização dos indicadores.

Por meio do *site*, os gestores podiam enviar os dados dos serviços, e a própria plataforma realizava o cálculo dos indicadores, tornando o processo mais ágil e eficiente. Essa plataforma foi desenvolvida ao longo do ciclo de 2019 e implementada no fim deste mesmo ciclo, tendo sido muito bem recebida e utilizada pelos gestores no ciclo de 2020. Ao final do ciclo de 2019, também foi realizado um seminário sobre as “Aplicações das ferramentas de *Lean* na Construção Civil” ilustrado na Figura 8, com a engenheira Alana Rodrigues, em 21 de novembro de 2019. O objetivo do evento foi apresentar para as construtoras alagoanas a filosofia da *Lean Construction*, desenvolvida por Lauri Koskela, visando disseminar boas práticas e aprimorar ainda mais os resultados obtidos pelo Grupo.

No ciclo 2, além do desenvolvimento do *site* de indicadores, o grupo de pesquisa também iniciou o processo de criação de uma cartilha de indicadores. Essa cartilha foi elaborada com o objetivo de auxiliar as empresas a entenderem melhor a implementação de indicadores de desempenho, bem como a importância da medição de desempenho e de que forma os indicadores são calculados. A cartilha também apresentou informações sobre a coleta de dados e como esses dados seriam registrados no *site* da pesquisa.

Com isso, a ideia era facilitar o entendimento sobre a utilização dos indicadores de desempenho, de forma a torná-los mais acessíveis e fáceis de serem aplicados pelas empresas participantes da pesquisa. O desenvolvimento da cartilha de indicadores evidenciou o compromisso do grupo de pesquisa com a evolução e o aprimoramento contínuo do processo de coleta e análise de dados, buscando sempre tornar as informações mais precisas e úteis para as empresas do setor da construção civil.

Figura 7 – Visita de acompanhamento realizada no empreendimento A1 em 10 de outubro de 2019



Fonte: Autora (2019)

Figura 8 – Seminário de Aplicações de ferramentas de *Lean* na Construção Civil



Fonte: Autora (2019)

- Ciclo de análise referente ao primeiro semestre de 2020

No terceiro ciclo do Clube de *benchmarking*, os dados coletados foram referentes a dez

construtoras e treze empreendimentos. Isso se deve ao fato de que três empreendimentos já haviam chegado à fase final de construção e foram entregues, enquanto um novo empreendimento entrou na pesquisa. Os indicadores coletados foram os mesmos da fase anterior. O terceiro ciclo foi marcado pela implementação do *site* e pelo desenvolvimento da cartilha. A coleta de dados foi aperfeiçoada com a implementação do *site*, que permitiu que cada gestor visualizasse o desempenho de sua obra em todos os serviços. Além disso, a alta administração conseguia, através do *site*, realizar comparativos entre todos os empreendimentos da empresa que estavam participando do Clube de *benchmarking*.

A partir dos gráficos disponibilizados pelo *site*, foi possível realizar o comparativo entre as médias dos empreendimentos e a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO). Além da consolidação do *site*, a cartilha também foi entregue à ADEMI-AL, podendo ser disponibilizada para as empresas participantes e para outras empresas interessadas em participar do Clube. O desenvolvimento da cartilha sobre a implementação de indicadores de desempenho foi de suma importância, pois facilitou o acesso das construtoras às análises de indicadores. Esses indicadores são essenciais para o crescimento das empresas, melhoria dos indicadores, aumento nos lucros e melhora da produtividade.

No entanto, o ciclo precisou ser interrompido no meio de 2020 devido à pandemia de SARS-CoV-2, também conhecida como pandemia de COVID-19, que foi uma emergência de saúde pública global que começou em Wuhan, China, no final de 2019 e se espalhou rapidamente pelo mundo. As restrições em relação às visitas e reuniões acabaram dificultando os processos de coleta e acompanhamento. Em comum acordo, a ADEMI-AL, as construtoras participantes e o grupo de pesquisa decidiram pausar temporariamente as atividades. Por isso, este ciclo conta com apenas seis meses de coleta, ao invés dos doze meses dos ciclos anteriores.

Em resumo, o terceiro ciclo do Clube de *benchmarking* foi caracterizado pela implementação do *site* e pelo desenvolvimento da cartilha. A coleta de dados foi aperfeiçoada com o *site*, e a entrega da cartilha foi de grande importância para a melhoria dos indicadores e aumento da produtividade das empresas participantes. Infelizmente, a pandemia de SARS-CoV-2 afetou a continuidade do ciclo, e por isso, em comum acordo, foi decidida a pausa temporária das atividades.

No Quadro 6 são apresentados o quantitativo de dados mensais enviados pelos empreendimentos, esses dados coletados correspondem ao período de janeiro de 2018 a junho de 2020, e na etapa de análise de dados esse quantitativo pode mudar a depender da caracterização do serviço.

Quadro 6 – Quantitativo de dados mensais enviados pelos empreendimentos

Indicador	Jan./2018 a Dez./2018	Jan./2019 a Dez./2019	Jan./2020 a Jun./2020
Alvenaria (Hh/ m ²)	37	35	19
Reboco interno (Hh/ m ²)	22	51	27
Contrapiso (Hh/ m ²)	61	55	25
Revestimento interno (pisos) (Hh/ m ²)	12	28	30
Concreto-Fôrma (Hh/ m ²)	35	34	12
Concreto-Armadura (Hh/ kg)	35	32	12
Concreto-Concretagem (Hh/ m ³)	28	29	14

Fonte: Autora (2023)

Os dados foram enviados mensalmente pelas construtoras por *e-mail*, através do formulário de coleta de dados e posteriormente passaram a ser enviados diretamente pelo *site*. Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro foram os que apresentaram menor quantidade de dados, pois algumas empresas não realizavam o envio, por serem meses com muitos feriados e como a maioria das empresas decretavam férias entre dezembro e janeiro, o envio de dados foi prejudicado.

O envio também está condicionado a realização de determinado serviço, pois a depender da fase em que a obra se encontra durante a participação na pesquisa, o serviço pode ou não estar sendo realizado. As obras que estão na fase inicial, tendem a realizar o envio apenas de dados de concreto (fôrma, armadura e concretagem) e alvenaria, pois correspondem aos serviços de estrutura e vedação realizados durante o início da obra. Enquanto que obras que estão entre a metade e o fim do cronograma tendem a enviar serviços de reboco, contrapiso e revestimento, já apresentando poucos dados de serviços de concreto e vedação, tendo em vista que estas etapas estão em finalização.

3.2.4.2 Criação do banco de dados

A partir dos valores coletados, um banco de dados foi montado com registros de vinte obras, com indicadores de produtividade registrados entre janeiro de 2018 e junho de 2020. Os dados são referentes aos indicadores de produtividade de empreendimentos residenciais realizados na cidade de Maceió. A partir dos envios realizados pelo engenheiro responsável por cada obra, os dados são coletados e registradas em uma planilha eletrônica, com as informações

bases iniciais.

Para a montagem do banco de dados foi necessário agrupar os dados enviados através do formulário e os dados enviados pelo *site*. Dessa forma, foi criada uma planilha eletrônica contendo informações sobre o empreendimento, os serviços analisados nos indicadores de produtividade e os dados enviados, que correspondem a hora homem trabalhada e a quantidade de serviço, representados no Quadro 7.

Quadro 7 – Indicadores de produtividade do Clube de *benchmarking*

MÊS/ANO: 06/2020		EMPREENDIMENTO D2		EMPREENDIMENTO D3	
SERVIÇO		HH	QServ	HH	QServ
Alvenaria (Hh/m ²)	Bloco cerâmico	10	9,6	400	595
	Bloco de gesso			320	912,55
	Bloco de concreto				
Reboco Interno (Hh/m ²)	Gesso			191	491,62
	Argamassa	50	46,15	576	1260
Contrapiso (Hh/m ²)	Áreas secas			340	434,3
	Áreas Molhadas			96	721
Revestimento Interno (Hh/m ²)	Piso			224	1140,66
	Parede			90	215,14
Concreto – Forma (Hh/m ²)	Madeira	2016	853,2	12	3210
	Metálica				
	PVC				
Concreto – Armadura (HH/kg)	Cortado / Dobrado			108	39450
	Corta / Dobra in loco	1568	6590,3		
Concreto – Concretagem (Hh/m ³)	-	124	155	14	125
Reboco Externo	-			740	1827,06
Esquadria	Marco				
	Contra marco			108	420
Pintura					

Fonte: Autora (2023)

A partir desses dados, foi desenvolvida uma nova planilha, com a razão unitária de produção (RUP) de cada serviço para cada empreendimento, originando a planilha de índices, apresentada no Quadro 8. Os índices de produtividade são os valores analisados e apresentados durante a reunião do Clube de *benchmarking*, a partir deles eram realizadas as análises comparativas entre os empreendimentos e o parâmetro nacional utilizado, a Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (TCPO/Pini) de 2017, como este foi o parâmetro selecionado no período de análise realizada nas reuniões de *benchmarking*, também será abordado na seção de resultados.

Quadro 8 – Índices de produtividade do Clube de *benchmarking*

MÊS/ANO: 06/2020			
		EMPREENHIMENTO D2	EMPREENHIMENTO D3
SERVIÇO		ÍNDICE	ÍNDICE
Alvenaria (Hh/m ²)	Bloco cerâmico	1,042	0,672
	Bloco de gesso		0,351
	Bloco de concreto		
Reboco Interno (Hh/m ²)	Gesso		0,389
	Argamassa	1,083	0,457
Contrapiso (Hh/m ²)	Áreas secas		0,783
	Áreas Molhadas		0,133
Revestimento Interno (Hh/m ²)	Piso		0,196
	Parede		0,418
Concreto – Forma (Hh/m ²)	Madeira	2,363	0,004
	Metálica		
	PVC		
Concreto – Armadura (HH/kg)	Cortado / Dobrado		0,003
	Corta / Dobra in loco	0,238	
Concreto – Concretagem (Hh/m ³)	-	0,800	0,112
Reboco Externo	-		0,405
Esquadria	Marco		
	Contra marco		0,257
Pintura			

Fonte: Autora (2023)

Para manter o acordo de confidencialidade as empresas foram classificadas por cor e letra, e os empreendimentos por número, tanto na planilha, quanto nos gráficos. Os Quadros 7 e 8 representam apenas uma pequena amostra de como foram criadas as planilhas, indicando dados de serviços de dois empreendimentos (2 e 3) de uma mesma empresa (cor verde e letra D) especializada na construção de imóveis residenciais de médio e alto padrão no estado de Alagoas. Na preparação do banco de dados, as planilhas foram divididas de acordo com as fases descritas no tópico de levantamento de dados. Dessa forma, ao todo foram seis planilhas, sendo três planilhas de indicadores e três de índices que correspondem às fases de janeiro de 2018 a fevereiro de 2019, março a dezembro de 2019 e janeiro a junho de 2020.

3.2.4.3 Identificação dos valores espúrios e dados faltantes

No processo de coleta de dados para este estudo, foi identificada a presença de valores espúrios e dados faltantes. A identificação desses dados se deu por meio da análise dos arquivos, incluindo os arquivos de apresentações utilizadas durante as reuniões do Clube de *benchmarking*, bem como os relatórios parciais e o relatório final desenvolvidos pelo Grupo,

que abordavam os problemas de coleta das empresas participantes.

Quanto aos valores espúrios, verificou-se que estes estavam relacionados à resistência de alguns engenheiros em realizar a coleta de dados conforme o treinamento indicado, como ocorreu no empreendimento G2. Também foi identificado que, em alguns casos, o funcionário responsável pela coleta não havia participado do treinamento, exemplo que ocorreu no empreendimento D3. Esses dados espúrios foram devidamente tratados a fim de que não interferissem nos resultados do estudo.

Por outro lado, os dados faltantes foram associados a dois fatores: empreendimentos que não estavam realizando o serviço no período de coleta e a dificuldade relatada pelas empresas em enviar dados nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. É importante ressaltar que dezembro e fevereiro são meses com muitos feriados, enquanto janeiro geralmente é o período de férias das empresas.

3.2.4.4 Métodos de análise para as variáveis coletadas

Para analisar variáveis coletadas existem diversas técnicas e métodos de análise estatística que podem ser utilizados. A estatística pode ser dividida em dois principais ramos, que correspondem à estatística descritiva e a estatística inferencial. A estatística descritiva representa o ramo que envolve a organização, resumo e representação dos dados, tendo como foco o cálculo de medidas de posição, como a média, e de variabilidade, como a variância (LARSON e FARBER, 2016). Em contrapartida, os autores definem que a estatística inferencial tem como foco o uso de uma amostra para chegar a considerações finais sobre determinada população.

Para Morettin e Busab (2010) a estatística inferencial tem como objetivo realizar a coleta, redução, análise e modelagem de dados, e dessa forma, produzir informações sobre determinada população, que tem sua característica representada por uma variável aleatória. Baseado nisso, foram selecionados alguns métodos de análise estatística para este trabalho, focados no ramo da estatística inferencial, tendo em vista que o estudo em questão é sobre indicadores de produtividade coletados mensalmente por construtoras na cidade de Maceió/AL.

Para o tipo de dados e os agrupamentos dos dados deste trabalho de pesquisa uma das principais possibilidades é realizar testes de hipótese com duas variáveis. Dessa forma, é possível realizar o comparativo das médias entre os anos de 2018 e 2019 e os anos de 2019 e 2020, para verificar a melhora (ou não) da produtividade das construtoras nos ciclos analisados. Para a análise dos resultados, serão utilizadas as variáveis e os resultados provenientes dos testes de hipótese, e também a análise documental contendo os relatórios de visita, de

acompanhamento e as discussões dos resultados nas reuniões de *benchmarking*.

O teste de hipótese para duas amostras é utilizado quando é necessário realizar uma comparação entre duas amostras que sejam independentes, e a partir disso, definir se as médias são estatisticamente iguais, ou diferentes. Duas amostras são definidas como independentes quando não há relação entre as amostras das duas populações analisadas, já as amostras dependentes são aqueles em que cada elemento de uma amostra está associado ao elemento da outra amostra (LARSON e FARBER, 2016).

- Análise comparativa entre duas amostras: teste z

O teste z foi um dos testes selecionados, pois é uma técnica utilizada para avaliar a diferença entre a média de uma amostra e a média de uma população conhecida, seu uso é realizado, em geral, quando se tem uma grande amostra para análise (LARSON e FARBER, 2016). Para este trabalho, o teste z pode ser utilizado para realizar a análise entre os anos de 2018 e 2019, bem como a análise para os anos de 2019 e 2020. No entanto, para isso, é necessário verificar se os dados disponíveis atendem às condições necessárias para realizar o teste. A seguir, a lista de condições necessárias para a realização do teste de acordo com Larson e Farber (2016).

- (i) os desvios padrão populacionais são conhecidos;
- (ii) as amostras são selecionadas aleatoriamente;
- (iii) as amostras são independentes;
- (iv) as populações são normalmente distribuídas ou cada tamanho de amostra é de pelo menos 30.

A partir da lista de condicionantes, identificou-se que quatro dos sete serviços de produtividade analisados entre os anos de 2018 e 2019, atendiam às condicionantes do teste z, são eles: alvenaria, contrapiso, concreto-fôrma e concreto-armadura. Os serviços de reboco interno e revestimento interno não atenderam à condicionante (iv), detendo de um tamanho de amostra menor que trinta em pelo menos um dos ciclos analisados, sendo necessário realizar testes para identificar se as populações são normalmente distribuídas. A eq. (3), indica como deve ser realizado o cálculo de Z.

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\bar{\mu}_1 - \bar{\mu}_2)}{(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_2)} \text{ em que } \bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_2 = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad (3)$$

Onde,

$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$: diferença das variâncias

$(\bar{\mu}_1 - \bar{\mu}_2)$: diferença das médias

$(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_2)$: erro padrão

- Teste de aderência e Teorema do Limite Central

Para realizar o teste z nos dados de indicadores de produtividade é necessário identificar se nos serviços de reboco interno, revestimento interno e concreto-concretagem, a amostra possui distribuição normal. A normalidade pode ser verificada por meio do teste de aderência, uma técnica utilizada para determinar se uma população segue determinada distribuição teórica (MORETTIN; BUSAB, 2010), ou por meio do Teorema do Limite Central (TLC), que afirma que independente da distribuição de uma variável aleatória a soma de n amostras independentes da variável aleatória se aproxima de uma distribuição normal à medida que o tamanho da amostra aumenta (MONTGOMERY, 2009).

O teste de aderência e o TLC foram utilizados neste estudo para verificar a normalidade das amostras. O primeiro teste foi realizado com o teste de Kolmogorov-Smirnov, um tipo de teste de aderência, que analisa se a distribuição empírica é igual a distribuição teórica, por isso através desse teste é possível determinar se a amostra é normalmente distribuída (LARSON e FARBER, 2016). O teste de Kolmogorov-Smirnov pode ser realizado por meio de planilha eletrônica, no entanto, já existem programas computacionais capazes de realizar o teste de forma simplificada e rápida. Dentre estes programas destaca-se o *GNU Octave*, um *software* livre e de código aberto para computação numérica.

Por ser um programa livre, de fácil utilização e por ter a vantagem de realizar tanto o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov como o Teorema do Limite Central, o *GNU Octave* foi o *software* selecionado para este estudo. O *software* é bastante utilizado para análise de dados, simulações numéricas e resolução de problemas matemáticos. Para realizar o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov basta utilizar a função "*kstest*". Na qual, "data" são os dados que se deseja testar e '*norm*' é a distribuição normal que se deseja testar. O resultado do teste será armazenado na variável "h", que será 1 se a hipótese nula (de que os dados seguem a distribuição normal) for rejeitada, ou 0 caso contrário. O valor-p do teste será armazenado na variável "p".

O processo de realização do *kstest* no *GNU Octave* envolveu basicamente três etapas:

- (i) preparação dos dados: para realizar o teste é necessário que o conjunto de dados esteja em formato de vetor ou matriz, com escala apropriada. Além disso, valores ausentes ou espúrios devem ser tratados adequadamente. Neste trabalho, a partir

do banco de dados detalhado no tópico 3.2.4.2, foi criada uma nova planilha contendo todos os dados mensais coletados por ano e distribuídos na coluna 1. Esta planilha foi nomeada com o serviço e o ano que seriam analisados, tudo junto, sem espaçamento, e o arquivo foi convertido para formato CSV para que fosse realizada a leitura correta no *software*;

- (ii) chamada da função *kstest*: com o banco de dados preparado, já foi possível chamar a função *kstest* do *GNU Octave*. A sintaxe básica para chamar a função é a seguinte:

$$[h, p, k] = kstest(data) \quad (4)$$

Onde,

data: conjunto de dados a ser testado

h: valor que indica se os dados passaram ou não no teste de normalidade

p: indica a probabilidade de os dados não serem normalmente distribuídos

k: estatística de teste de Kolmogorov-Smirnov

- (iii) interpretação dos resultados: se *h* for 0, os dados passaram no teste de normalidade e podem ser considerados normalmente distribuídos. Se *h* for 1, os dados não passaram no teste de normalidade e podem não ser normalmente distribuídos. O valor de *p* indica a significância do resultado, ou seja, a probabilidade de obter um resultado semelhante se os dados não fossem normalmente distribuídos. O valor de *k* representa a distância máxima entre a função de distribuição empírica da amostra e a função de distribuição teórica da distribuição normal. Quanto maior o valor de *k*, maior é a discrepância entre a amostra e a distribuição normal.

Além do teste de Kolmogorov-Smirnov, a normalidade também foi verificada por meio do Teorema do Limite Central (TLC) no *software GNU Octave*. O processo de realização do TLC no *Octave* envolveu basicamente os seguintes passos:

- (i) preparação dos dados: a etapa de preparação dos dados ocorreu da mesma forma do *kstest*. No entanto, no processo final os dados foram digitados diretamente na linha de comando;
- (ii) cálculo da média e do desvio padrão: com os dados já no programa, foi realizado o cálculo da média e do desvio padrão amostral utilizando os comandos "*mean*" e "*std*", respectivamente;

- (iii) definição do tamanho da amostra: para aplicar o TLC, é necessário definir o tamanho da amostra. Quanto maior a amostra, mais próxima será a distribuição amostral da distribuição normal. Por isso foram geradas 1000 amostras para ver a aproximação normal;
- (iv) cálculo da distribuição amostral: com a média e o desvio padrão amostral e o tamanho da amostra definidos, foi possível calcular a distribuição amostral utilizando a fórmula do TLC;
- (v) visualização da distribuição normal: com os passos anteriores finalizados, já foi possível plotar o histograma utilizando o comando "*hist*".

Com o histograma plotado verifica-se se visualmente as amostras parecem seguir uma distribuição normal, se sim, o TLC sugere que a média amostral se aproxima de uma distribuição normal à medida que o tamanho da amostra aumenta.

3.2.5 Seminário com as construtoras do grupo de *benchmarking* para triangulação de dados

Para reforçar a importância dos processos de implementação, coleta e análise de indicadores de produtividade, os dados coletados e analisados por meio de métodos estatísticos serão apresentados em seminário com as empresas participantes do Clube de *benchmarking*.

3.2.6 Resultados e discussões

Com base nas etapas de preparação e de análise dos dados e, nas soluções implementadas no Sistema de Indicadores *Online* do Clube de *benchmarking*, foi proposto um conjunto de contribuições para a coleta e a análise de dados de produtividade.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as análises estatísticas dos indicadores de produtividade dos empreendimentos participantes deste estudo. Para a análise comparativa dos anos de 2018, 2019 e 2020 foi utilizado o teste z para duas amostras, adotando a hipótese nula de que a produtividade foi igual nos dois anos analisados e o nível de significância (alfa) de 0,05. Nas amostras com tamanho menor que trinta foi necessário verificar se a amostra possuía distribuição normal, para isso foram utilizados os testes de Kolmogorov-Smirnov e Teorema do Limite Central.

4.1 INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

Foram analisados os indicadores de produtividade dos serviços de alvenaria (bloco cerâmico), reboco interno (argamassa), contrapiso, revestimento interno (piso), concreto-fôrma, concreto-armadura e concreto-concretagem.

4.1.1 Alvenaria (bloco cerâmico)

No serviço de alvenaria realizado com bloco cerâmico, dos vinte empreendimentos participantes, foram registrados dados de sete empreendimentos em 2018, sete em 2019 e três empreendimentos em 2020. Os empreendimentos A1, B1, C2, G1, H1 e K1 finalizaram a etapa de execução do serviço no ano de 2019, por isso não apresentaram dados em 2020. Já o empreendimento D1, ainda estava na etapa de fundação durante a coleta do serviço de alvenaria e E1, G2 e I1 não estavam realizando o serviço durante o período de coleta. Enquanto F1, F2 e J1 não realizaram registros de dados deste serviço durante o período de coleta.

O teste z foi utilizado para a análise comparativa entre os anos de 2018 e 2019 e os anos de 2019 e 2020. Como os anos de 2019 e 2020 apresentaram uma amostra menor que trinta, foi necessário realizar os testes para verificar se as amostras eram normalmente distribuídas. As Figura 9 e 10 apresentam os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov realizados no *software GNU Octave*. Como nos dois anos analisados obteve-se $h = 1$, os dados não passaram no teste de normalidade e podem não ser normalmente distribuídos, sendo necessário verificar a normalidade de outra forma.

Figura 9 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) em 2019

Nome	Classe	Dimensão	Valor	Atributo
amostra	double	23x1	[0; 0; 0; 0; 0; 0...	
data	double	23x2	[0, 72; 0, 53; 0, 7...	
h	logical	1x1	1	
k	double	1x1	0.5000	
p	double	1x1	7.6693e-06	

```
>> data=csvread('alvenaria2019.csv');
>> amostra=data(:,1);
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
>> |
```

Fonte: Autora (2023)

Figura 10 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) em 2020

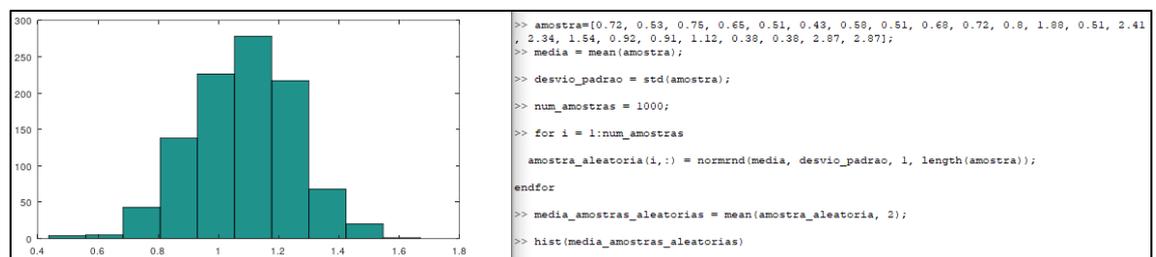
Nome	Classe	Dimensão	Valor	Atributo
amostra	double	11x1	[0; 0; 0; 0; 0; 0...	
data	double	11x2	[0, 28; 0, 19; 0, 1...	
h	logical	1x1	1	
k	double	1x1	0.5000	
p	double	1x1	4,5652e-03	

```
>> data=csvread('alvenaria2020.csv');
>> amostra=data(:,1);
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
>>
```

Fonte: Autora (2023)

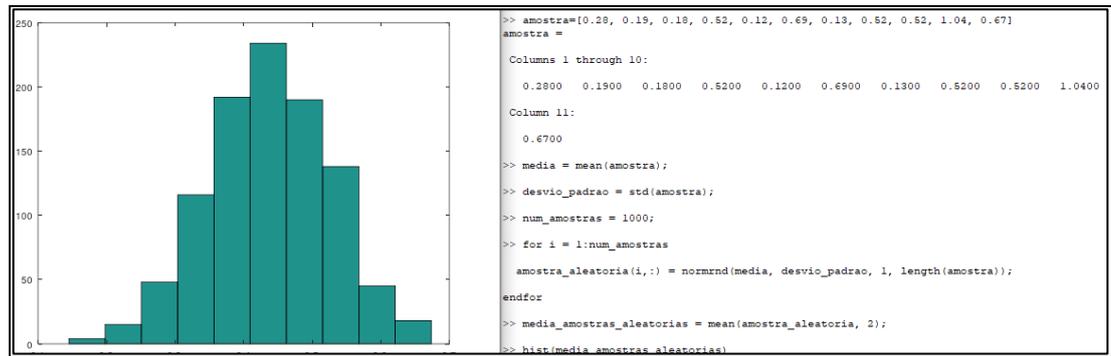
Além do teste de Kolmogorov-Smirnov, a normalidade também pode ser verificada por meio do Teorema do Limite Central (TLC) no *software GNU Octave*. As Figura 11 e 12 apresentam o passo a passo utilizado no *software* e os histogramas gerados pelo programa, que indicam nos dois anos analisados, que a distribuição dos dados é aproximadamente simétrica e se assemelha a uma curva em forma de sino, característica da distribuição normal. Portanto, pode-se afirmar com um nível de confiança significativo que a população é normalmente distribuída, e com isso atende às condicionantes necessárias para a realização do teste z.

Figura 11 – Teorema do Limite Central para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) em 2019



Fonte: Autora (2023)

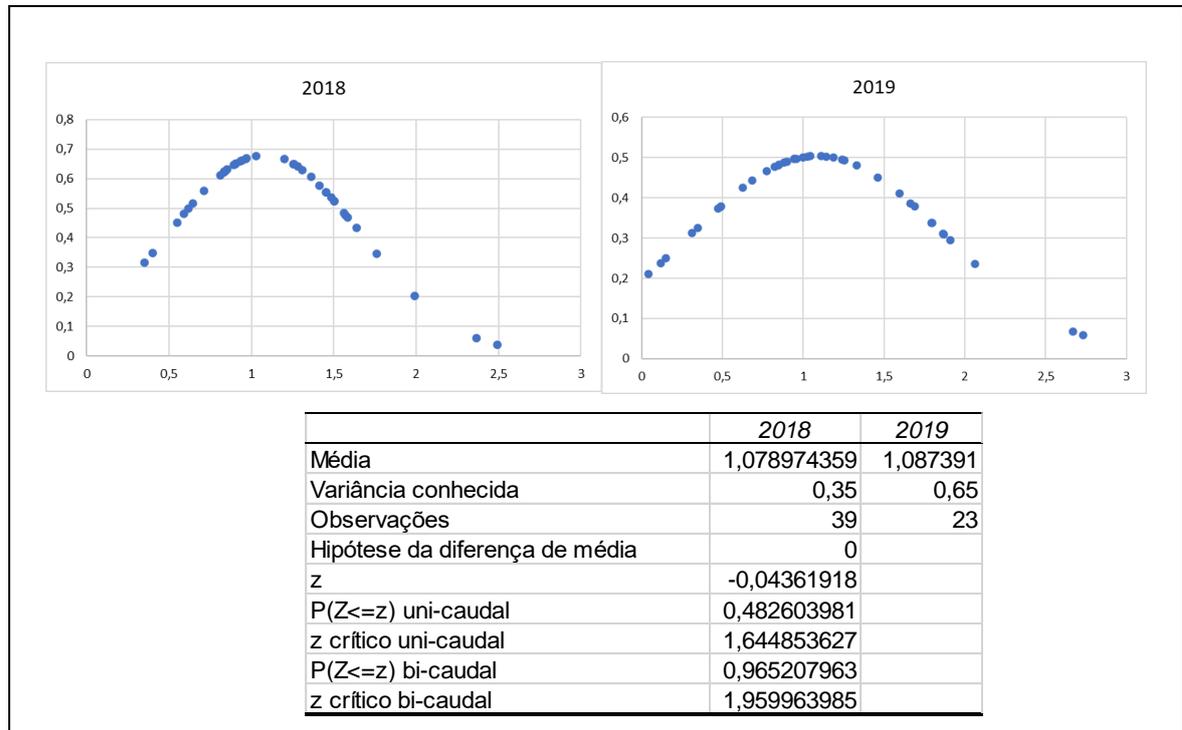
Figura 12 – Teorema do Limite Central para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) em 2020



Fonte: Autora (2023)

A partir dos resultados dos testes de normalidade, o teste z foi realizado, apresentando o comparativo da produtividade das empresas participantes entre os anos de 2018 e 2019, ilustrado na Figura 13, com a representação da distribuição normal para os dois anos analisados e o resultado do teste z. O nível de significância (alfa) utilizado neste estudo foi de 0,05, e a hipótese nula é de que 2018 e 2019 são iguais. O resultado do teste z de -0,04 indica que a diferença observada na produtividade entre os dois anos não é estatisticamente significativa. O valor de P uni-caudal de 0,48 é maior que o nível de significância, por isso, a hipótese nula de que a produtividade foi igual nos dois anos não pode ser rejeitada. Dessa forma, não temos evidências estatísticas suficientes para afirmar que a produtividade foi significativamente diferente entre os anos de 2018 e 2019.

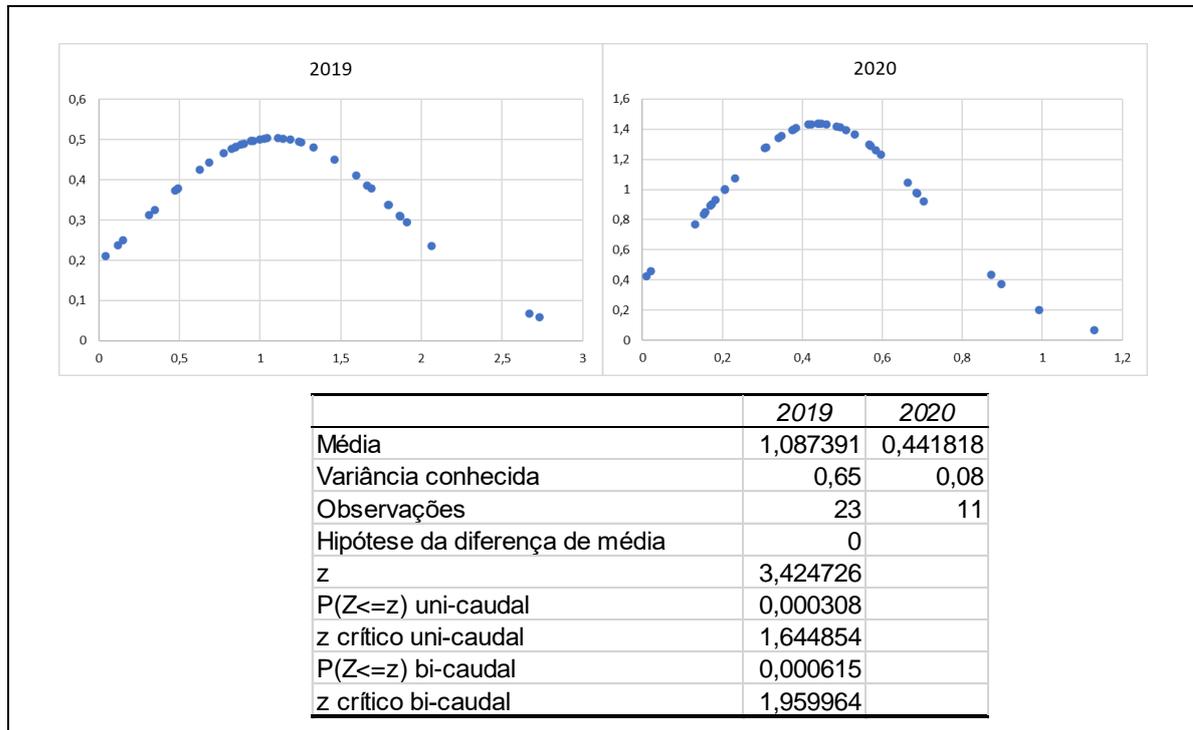
Figura 13 – Teste z para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) (2018-2019)



Fonte: Autora (2023)

O comparativo também foi feito para os anos de 2019 e 2020, apresentado na Figura 14. O resultado obtido indica que existe uma diferença estatisticamente significativa na produtividade entre os anos de 2019 e 2020 para o serviço de alvenaria realizado com bloco cerâmico. Como o valor de z é de 3,42, portanto maior que o valor crítico de z uni-caudal de 1,64, pode-se rejeitar a hipótese nula de que a produtividade foi igual nos dois anos. Além disso, como o valor de P uni-caudal de 0,0003 foi menor que o nível de significância adotado de 0,05, indica que a probabilidade de obtermos um resultado tão extremo quanto o observado ao acaso é muito baixa, o que fortalece a evidência a favor da diferença na produtividade.

Figura 14 – Teste z para indicador de alvenaria (bloco cerâmico) (2019-2020)



Fonte: Autora (2023)

Dessa forma, há evidências estatísticas suficientes para afirmar que a produtividade no ano de 2020 foi melhor do que no ano de 2019. Esta evolução pode estar associada às diversas melhorias implementadas no decorrer da pesquisa, como os treinamentos realizados, as visitas frequentes, o aumento do nível de caracterização dos serviços e a implementação do *site*, ferramenta computacional para melhorar a etapa de coleta, utilizada no ano de 2020. No caso do serviço de alvenaria, identificou-se na análise de arquivos, que a quantidade menor de dados coletados em 2019 e 2020 em comparação com 2018 dá-se ao fato de que alguns empreendimentos já haviam finalizado a execução deste serviço, no período de coleta observado. Em relação à Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO/Pini), 33% dos dados coletados em 2018 indicaram índices melhores de produtividade que a TCPO, 34% em 2019 e 72% em 2020.

Durante as reuniões do Clube de *benchmarking*, os engenheiros responsáveis pelos empreendimentos com melhor produtividade no serviço analisado apresentavam suas boas práticas. Destaca-se o caso de sucesso apresentado pelo engenheiro do empreendimento com maior produtividade no serviço de alvenaria em 2020, que descreveu como realizava o serviço na reunião de 05 de agosto de 2020. Esta obra corresponde a um condomínio com três torres com seis pavimentos, que utilizava apenas alvenaria de bloco cerâmico para vedação, o

engenheiro informou que utilizava a técnica 2/1, para cada dois pedreiros, um servente, pois notou que na técnica 1/1, um pedreiro trabalhando com um servente fazia com que o servente passasse muito tempo ocioso após realizar a entrega dos materiais para o pedreiro.

Com a técnica 2/1 o servente está sempre em movimento, realizando reposições de materiais e limpeza do ambiente. Para o bom funcionamento dessa logística, é necessário ordenar a entrega dos materiais e manter os pedreiros em ambientes próximos, em um mesmo andar e preferencialmente, em uma mesma terminação. As horas iniciais do serviço, são as mais críticas, pois os dois profissionais estão carentes da entrega do material, por isso perde-se um pouco da produtividade nas primeiras horas, no entanto, com os materiais entregues para ambos, o servente passa a fazer a reposição em ordem alternada entre os profissionais, de forma que até a finalização do serviço no dia, não há falta de material.

4.1.2 Reboco interno (argamassa)

No serviço de reboco interno realizado com argamassa, dos vinte empreendimentos participantes, foram registrados dados de quatro em 2018, sete em 2019 e quatro em 2020. Os empreendimentos D4, D5 e G2 finalizaram a etapa de execução do serviço no ano de 2018, por isso não apresentaram dados nos anos posteriores. Já o empreendimento H1, coletou apenas um dado em 2019, no entanto, não utilizado para fins de análise de produtividade por ser muito divergente quando comparado aos demais, por isso foi designado como valor espúrio. O empreendimento I1 não estava realizando o serviço durante o período de coleta. Enquanto B1, B2, F1, F2 e J1 não realizaram registros de dados deste serviço durante o período de coleta.

O teste z foi utilizado para a análise comparativa entre os anos de 2018 e 2019 e os anos de 2019 e 2020. Todos os anos possuíam uma amostra menor que trinta, por isso foi necessário verificar se as amostras eram normalmente distribuídas. As Figuras 15, 16 e 17 apresentam os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov realizados no *software GNU Octave*. Como nos anos analisados obteve-se $h = 1$, os dados não passaram no teste de normalidade e podem não ser normalmente distribuídos.

Figura 15 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de reboco interno (argamassa) em 2018

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x21	[1.1500, 1.0500, 0.9800, 1.3700, 1.37...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5993
p	double	1x1	1.9646e-07

```

>> amostra=[1.15, 1.05, 0.98, 1.37, 1.37, 1.73, 1.37, 0.35, 0.17, 1.02, 0.65, 0.45, 2.14, 1.4
7, 1.94, 1.8, 1.02, 0.74, 1.14, 0.75, 0.92]
amostra =

Columns 1 through 10:
    1.1500    1.0500    0.9800    1.3700    1.3700    1.7300    1.3700    0.3500    0.1700    1.0200

Columns 11 through 20:
    0.6500    0.4500    2.1400    1.4700    1.9400    1.8000    1.0200    0.7400    1.1400    0.7500

Column 21:
    0.9200

>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

Figura 16 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de reboco interno (argamassa) em 2019

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x26	[1.4000, 0.7100, 0.6900, 2.3300, 2.40...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5910
p	double	1x1	8.7978e-09

```

>> amostra=[1.4, 0.71, 0.69, 2.33, 2.4, 2.87, 0.89, 0.84, 0.4, 0.95, 0.44, 0.28, 0.89, 0.3, 0
.33, 1.08, 0.31, 0.36, 2.87, 0.55, 0.54, 0.43, 0.42, 0.68, 0.42, 0.42]
amostra =

Columns 1 through 10:
    1.4000    0.7100    0.6900    2.3300    2.4000    2.8700    0.8900    0.8400    0.4000    0.9500

Columns 11 through 20:
    0.4400    0.2800    0.8900    0.3000    0.3300    1.0800    0.3100    0.3600    2.8700    0.5500

Columns 21 through 26:
    0.5400    0.4300    0.4200    0.6800    0.4200    0.4200

>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

Figura 17 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de reboco interno (argamassa) em 2020

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x11	[0.1200, 0.4600, 0.4600, 0.4600, 0.31...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5478
p	double	1x1	1.2638e-03

```

>> amostra=[0.12, 0.46, 0.46, 0.46, 0.31, 0.61, 0.13, 1.08, 0.46, 2.4, 0.28]
amostra =

Columns 1 through 10:
    0.1200    0.4600    0.4600    0.4600    0.3100    0.6100    0.1300    1.0800    0.4600    2.4000

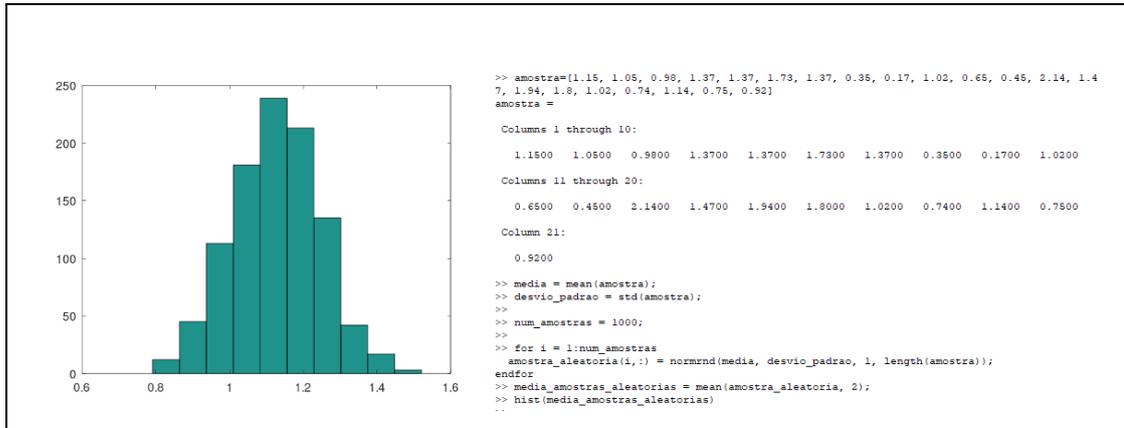
Column 11:
    0.2800

>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

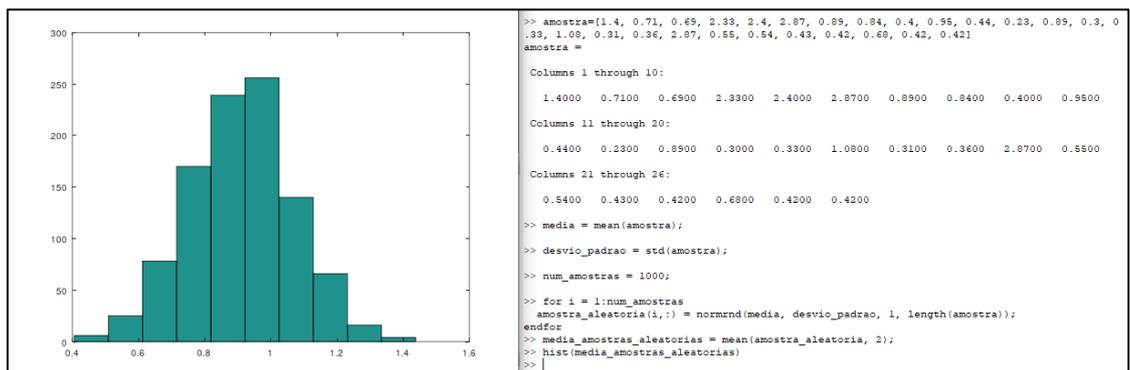
As Figura 18, 19 e 20 apresentam o histograma e o passo a passo utilizado no *software* para teste de normalidade pelo TLC. Os histogramas indicam que nos três anos analisados, a distribuição dos dados é aproximadamente simétrica. Dessa forma, assim como no serviço de alvenaria, pode-se afirmar com um nível de confiança significativo que a população analisada no serviço de reboco interno é normalmente distribuída.

Figura 18 – Teorema do Limite Central para indicador de reboco interno (argamassa) em 2018



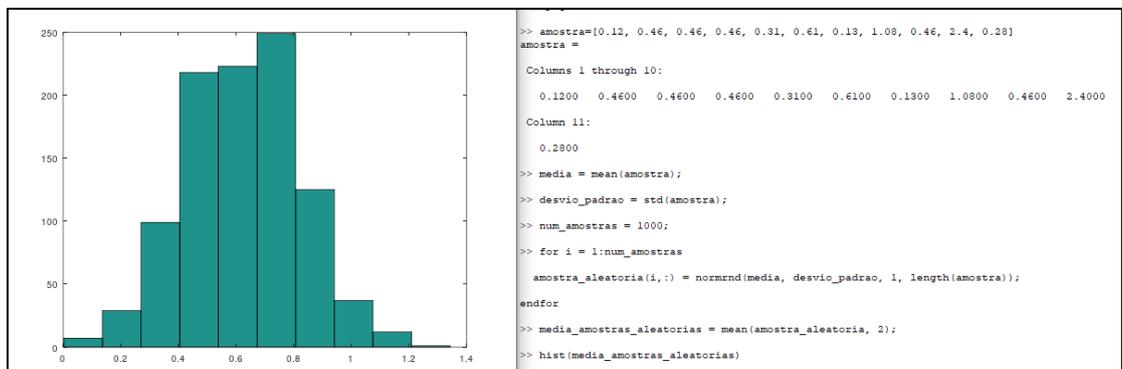
Fonte: Autora (2023)

Figura 19 – Teorema do Limite Central para indicador de reboco interno (argamassa) em 2019



Fonte: Autora (2023)

Figura 20 – Teorema do Limite Central para indicador de reboco interno (argamassa) em 2020

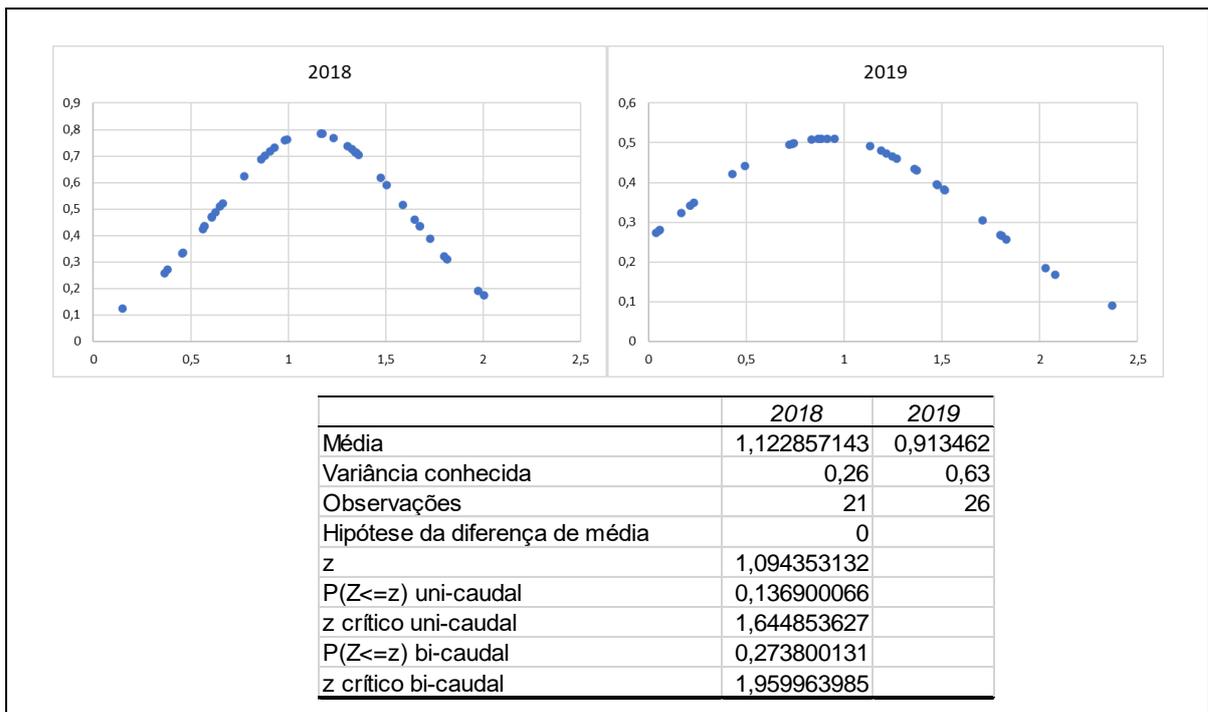


Fonte: Autora (2023)

A partir dos resultados dos testes de normalidade, o teste z foi realizado, apresentando

o comparativo da produtividade das empresas participantes entre os anos de 2018 e 2019, ilustrado na Figura 21, com a representação da distribuição normal para os dois anos analisados e o resultado do teste z. Esse resultado representa que a diferença de produtividade entre os anos de 2018 e 2019 não foi estatisticamente significativa, ou seja, não há evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que a produtividade foi igual nos dois anos. O valor de $z = 1,09$ indica que a diferença observada entre as médias das duas amostras não é muito grande em relação ao desvio padrão das amostras. Além disso, o valor de $P(Z \leq z)_{uni - caudal} = 0,13$ indica que a probabilidade de obter um valor de z igual ou maior do que 1,09 (ou seja, uma diferença entre as médias maior ou igual a observada) é de apenas 13%, o que é maior do que o nível de significância adotado de 5%.

Figura 21 – Teste z para indicador de reboco interno (argamassa) (2018-2019)



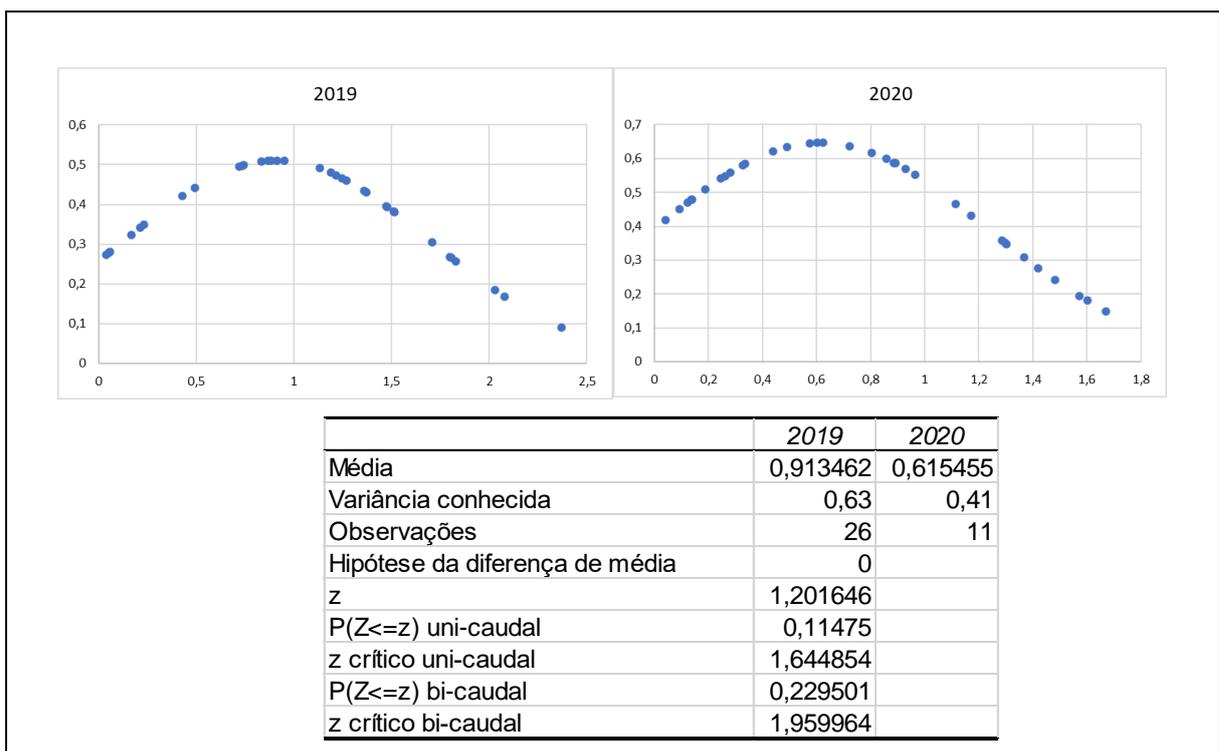
Fonte: Autora (2023)

Assim como no comparativo entre 2018 e 2019, o comparativo entre 2019 e 2020 não apresentou embasamento estatístico suficiente que comprovasse diferença de produtividade entre os anos analisados. Na Figura 22 é possível visualizar que o valor de z é 1,2, o que indica que a diferença entre as duas médias amostrais (uma para cada ano) é de 1,2 desvios padrões acima da média. Isso sugere que a produtividade do ano de 2020 é maior do que a do ano de 2019. No entanto, como $P(Z \leq z)_{uni - caudal}$ é 0,11, a probabilidade de se obter um valor de z

menor ou igual a 1,2 é de 11% caso a hipótese nula (de que as médias são iguais) seja verdadeira. Como essa probabilidade é maior do que o nível de significância adotado (0,05), não se deve rejeitar a hipótese nula.

O valor de z crítico uni-caudal é 1,64, que representa o valor crítico de z para o nível de significância adotado. Como este valor é menor do que 1,64, não se pode rejeitar a hipótese nula e afirmar com confiança que a produtividade do ano de 2020 é maior do que a do ano de 2019. Dessa forma, embora haja indícios de que a produtividade tenha melhorado no ano de 2020 em relação a 2019, não há evidências estatísticas suficientes para afirmar com confiança que essa diferença é real, ou seja, não podemos rejeitar a hipótese nula de que as médias são iguais.

Figura 22 – Teste z para indicador de reboco interno (argamassa) (2019-2020)



Fonte: Autora (2023)

Além da análise estatística é importante estudar o desenvolvimento do serviço de reboco interno nas construtoras participantes, a partir da análise dos arquivos das reuniões e dos relatórios de visita. O empreendimento C2 foi o primeiro da empresa a participar do Grupo e o engenheiro reforçou na reunião de 13 de fevereiro de 2020, o quanto os momentos durante as reuniões de *benchmarking* foram benéficos para o aperfeiçoamento das atividades, com ajustes nas equipes e na distribuição de material, pois seguindo a orientação de outras empresas

participantes, designou equipe específica para disponibilizar a argamassa logo no início da manhã.

De acordo com os engenheiros participantes do Grupo durante as reuniões, a disponibilidade de material em tempo real para o pedreiro é um dos principais fatores para alta produtividade no serviço de reboco interno realizado com argamassa. Tal fato é reforçado pelo engenheiro responsável pelo empreendimento K1, o qual já apresentava alta produtividade em 2019, melhor que a (TCPO/Pini) e em 2020 obteve maior êxito, sendo o empreendimento com maior produtividade em 2020.

O serviço de reboco interno já era visto pela equipe do K1 como desafiador desde a etapa de planejamento da obra. Por serem apartamentos de alto padrão com mais de 280m², e grande área de reboco, a execução do serviço demandaria muitos meses, por isso foi designada uma equipe específica para o serviço, já advinda de obras anteriores da mesma empresa, funcionários que já estavam adaptados a forma de trabalho e ao alto padrão dos apartamentos entregues pela construtora. Cerca de 28% dos dados coletados em 2018 indicaram índices melhores de produtividade de reboco interno que a TCPO, 61% em 2019 e 81% em 2020.

4.1.3 Contrapiso

No que se refere ao serviço de contrapiso, o presente estudo contemplou vinte empreendimentos. Dentre eles, nove empreendimentos forneceram dados relativos à execução do serviço em ambos os anos de 2018 e 2019, enquanto apenas cinco empreendimentos forneceram dados para o ano de 2020. Constatou-se que os empreendimentos B2, D5, F1, G2 e H1 finalizaram a etapa de execução do serviço no ano de 2018 e, portanto, não apresentaram dados nos anos posteriores. Por sua vez, o empreendimento I1 não estava realizando o serviço durante o período de coleta de dados. Por fim, os empreendimentos F2 e J1 não realizaram registros de dados deste serviço durante o período de coleta analisado.

O teste de normalidade foi realizado apenas para o ano de 2020, tendo em vista que este possuía amostra menor que trinta. As Figuras 23 e 24 apresentam os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov e Teorema do Limite Central (TLC), respectivamente, realizados no *software GNU Octave*. O primeiro teste resultou em $h = 1$, que não comprova normalidade da amostra pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo necessário realizar um segundo teste (TLC), que por meio do histograma indica que se pode afirmar com um nível de confiança significativo que a população analisada no serviço de contrapiso é normalmente distribuída, pois a distribuição de dados é aproximadamente simétrica.

Figura 23 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de contrapiso em 2020

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x13	[0.2700, 0.7800, 0.3500, 0.2300, 0.0900, 0.3500, 0.1200, 0.4900, 0.4600, 0.4600, 0.2400, 0.2500, 0.4600]
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5359
p	double	1x1	5.1289e-04

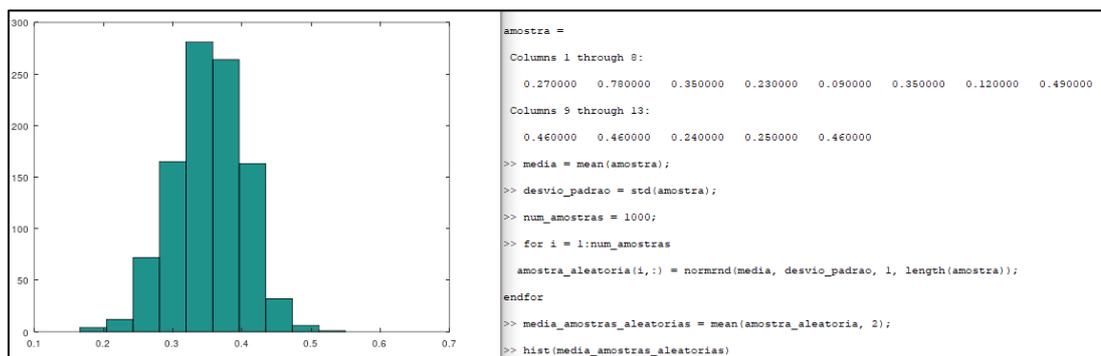
```

>> amostra=[0.27, 0.78, 0.35, 0.23, 0.09, 0.35, 0.12, 0.49, 0.46, 0.46, 0.24, 0.25, 0.46]
amostra =
Columns 1 through 8:
    0.270000    0.780000    0.350000    0.230000    0.090000    0.350000    0.120000    0.490000
Columns 9 through 13:
    0.460000    0.460000    0.240000    0.250000    0.460000
>> [h, p, k] = kstest(amostra);

```

Fonte: Autora (2023)

Figura 24 – Teorema do Limite Central para indicador de contrapiso em 2020

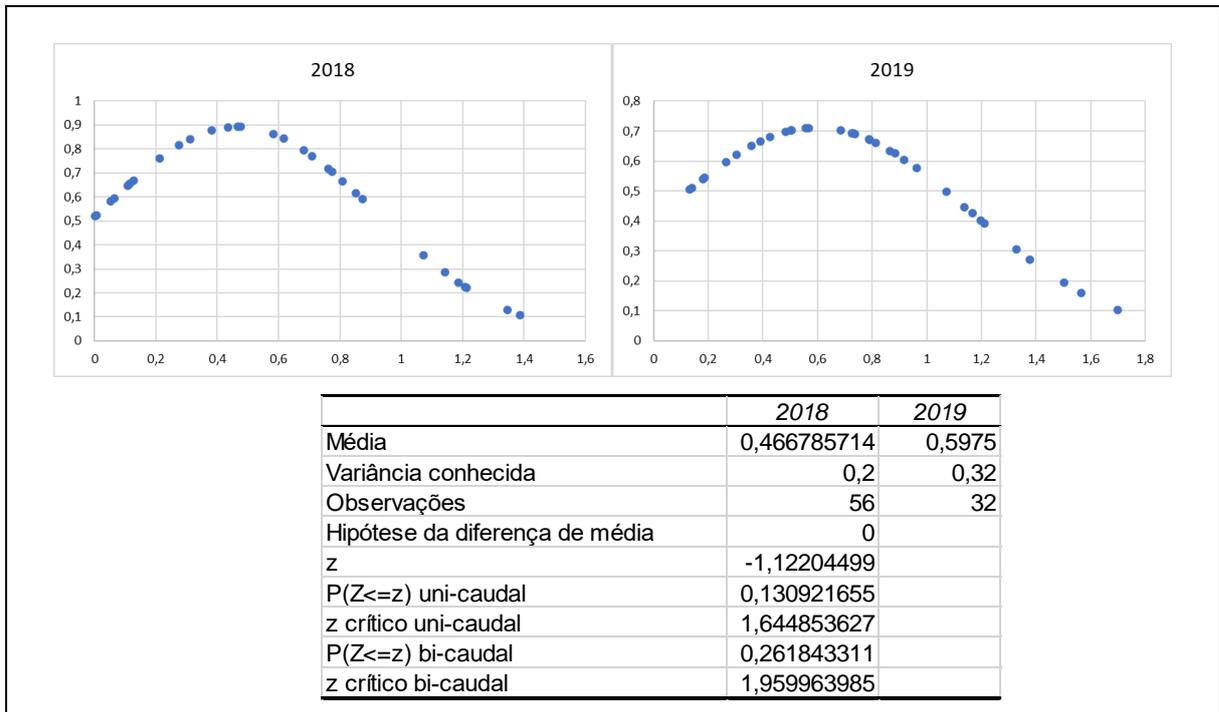


Fonte: Autora (2023)

Após a verificação da normalidade dos dados, foi realizado o teste z para comparar a produtividade das empresas participantes entre os anos de 2018 e 2019. Os resultados do teste foram ilustrados na Figura 25, que mostra a distribuição normal para os dois anos analisados e o valor obtido para o teste z. O valor do teste z obtido foi -1,12, o que significa que a diferença entre as produtividades de 2018 e 2019 foi de 1,12 desvios-padrão. A partir disso, é possível calcular a probabilidade de se obter um valor igual ou inferior a esse sob a hipótese nula de que as produtividades são iguais nos dois anos.

A probabilidade encontrada foi de 0,13, ou seja, existe uma chance de 13% de se obter um valor tão extremo ou mais extremo do que o observado, se a hipótese nula for verdadeira. Como o valor absoluto do teste z observado (-1,12) é menor do que o valor crítico (1,64), não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de que as produtividades são iguais nos dois anos. Isso significa que não podemos afirmar com um nível de confiança de 95% que houve uma melhora na produtividade em 2019 em relação a 2018.

Figura 25 – Teste z para indicador de contrapiso (2018-2019)

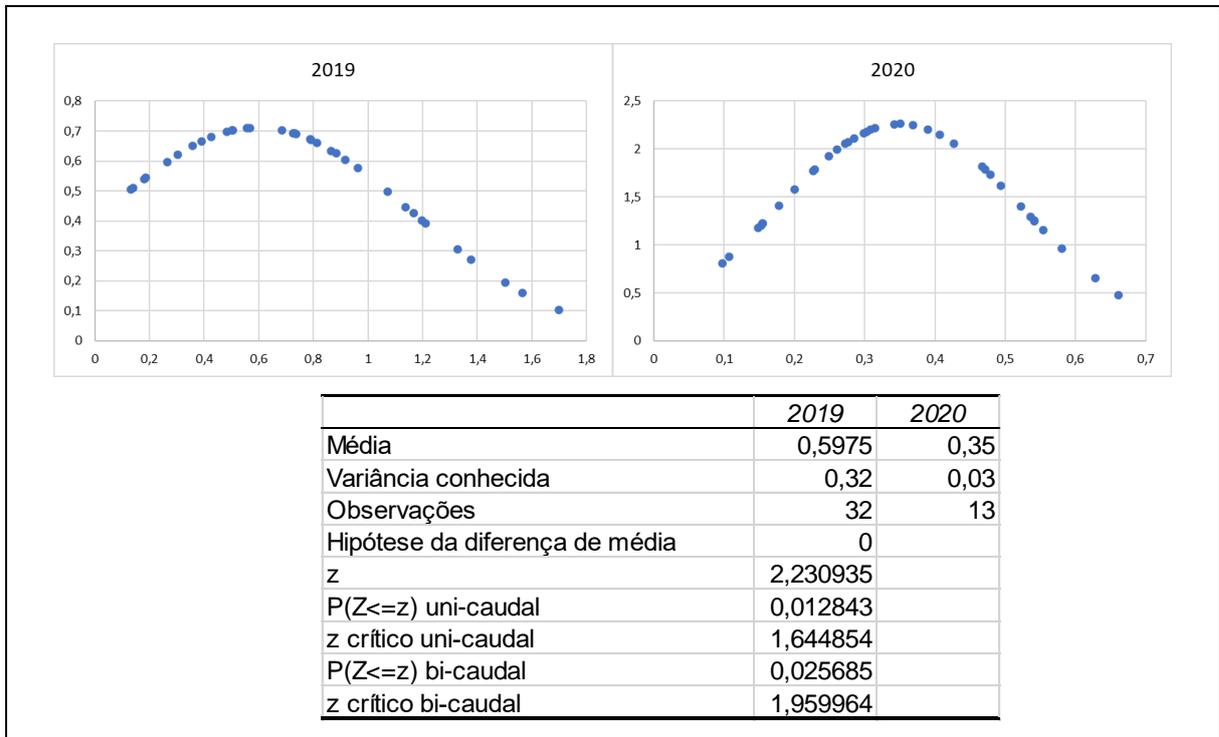


Fonte: Autora (2023)

Na análise entre os anos de 2019 e 2020 foi possível comprovar por meio do teste z que a produtividade das construtoras em 2020 no serviço de contrapiso foi superior a produtividade em 2019, como ilustrado na Figura 26. O resultado do teste z indica que há evidências estatísticas significativas para rejeitar a hipótese nula de que a produtividade foi igual nos anos de 2019 e 2020, com um nível de significância de 0,05. O valor de $z = 2,23$ indica que a diferença entre a média de produtividade de 2019 e 2020 é de 2,23 desvios padrão, o que sugere uma diferença substancial.

A probabilidade de obter um valor de z igual ou maior do que o observado é de 0,01, o que significa que há apenas 1% de chance de que a diferença na produtividade entre 2019 e 2020 tenha ocorrido por acaso, e que essa diferença é estatisticamente significativa. A melhora da produtividade neste serviço reforça a importância do compartilhamento de boas práticas entre as construtoras, pois assim todas têm a possibilidade de evoluir juntas, não sendo o foco principal do projeto o crescimento individual de apenas uma construtora, e sim, a evolução da dos serviços de produtividade nas construtoras alagoanas.

Figura 26 – Teste z para indicador de contrapiso (2019-2020)



Fonte: Autora (2023)

O serviço de contrapiso precede o de revestimento de piso cerâmico, que é um serviço de acabamento. A execução correta do contrapiso é fundamental, assim, irá garantir o nível e desnível do piso de forma adequada, para evitar empoçamentos e barreiras. A produtividade das construtoras alagoanas participantes do Grupo é alta no serviço de contrapiso, pois a maioria apresentou índices superiores à da (TCPO/Pini) em todos os anos de coleta. Cerca de 91% dos dados coletados em 2018 indicaram índices melhores de produtividade de contrapiso que a (TCPO/Pini), 81% em 2019 e 100% em 2020. Com destaque para os empreendimentos D4 e G1 que empataram com o mesmo índice em 2018, ambos são de obras de alto padrão.

Em 2019 o empreendimento D4 atingiu o melhor índice de produtividade dentre todos os empreendimentos participantes nos 3 anos de coleta, com duas torres de vinte andares e apartamentos com até 145m². Durante as discussões nas reuniões do Clube de *benchmarking*, os engenheiros informaram que um dos principais facilitadores do serviço de contrapiso é a execução em apartamentos maiores, e mais especificamente, em ambientes de maior área. Quanto maior a área, mais fácil é a execução de serviço, pois o material é depositado no local e o pedreiro consegue puxar o material com a régua com mais praticidade, principalmente em ambientes com o mesmo nível, em geral as áreas secas, como salas e quartos.

4.1.4 Revestimento interno (piso)

No serviço de revestimento interno, especificamente a aplicação no piso, dos vinte empreendimentos participantes, três forneceram dados em 2018, cinco em 2019 e cinco em 2020. Os dados analisados correspondem aos enviados pelos empreendimentos A1, C1, D3, D5, G1, H1, H2 e K1, que estavam realizando o serviço durante o período de coleta. Assim como nos serviços de alvenaria, reboco interno e contrapiso já analisados, o teste z foi utilizado para o comparativo entre os anos no serviço de revestimento interno.

Identificou-se que este serviço apresentou o menor quantitativo de dados, no entanto, o envio de dados aumentou de 2018 para 2019 e de 2019 para 2020. Todos os anos possuíam amostra menor que trinta, por isso foi necessário verificar se as amostras eram normalmente distribuídas. As Figuras 27, 28 e 29 apresentam os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov realizados no *software GNU Octave*. O resultado foi $h = 1$, que não comprova normalidade da amostra pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Figura 27 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de revestimento interno (piso) em 2018

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x12	[0.2900, 0.9300, 1.0100, 0.3600, 0.29...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.6141
p	double	1x1	6.9961e-05

```

>> amostra=[0.29, 0.93, 1.01, 0.36, 0.29, 0.87, 0.41, 0.52, 0.43, 2.03, 0.93, 0.93]
amostra =
Columns 1 through 10:
0.2900 0.9300 1.0100 0.3600 0.2900 0.8700 0.4100 0.5200 0.4300 2.0300
Columns 11 and 12:
0.9300 0.9300
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

Figura 28 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de revestimento interno (piso) em 2019

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x15	[0.1700, 0.3300, 0.5300, 0.4500, 0.78...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5675
p	double	1x1	4.3019e-05

```

>> amostra=[0.17, 0.33, 0.53, 0.45, 0.78, 0.6, 0.65, 0.65, 0.67, 0.64, 0.34, 0.51, 0.53, 1.05, 0.94]
amostra =
Columns 1 through 10:
0.1700 0.3300 0.5300 0.4500 0.7800 0.6000 0.6500 0.6500 0.6700 0.6400
Columns 11 through 15:
0.3400 0.5100 0.5300 1.0500 0.9400
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

Figura 29 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de revestimento interno (piso) em 2020

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x18	[0.4000, 0.3200, 0.2000, 0.2000, 0.38...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5675
p	double	1x1	4.3019e-05

```

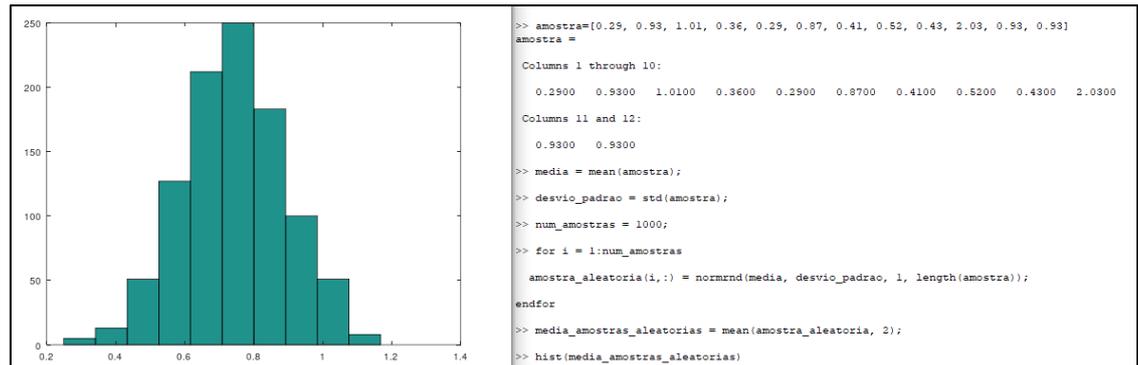
>> amostra=[0.4, 0.32, 0.2, 0.2, 0.38, 0.44, 0.48, 0.38, 0.26, 1.12, 0.68, 0.71, 0.68, 0.73, 0.73, 0.71, 0.2, 0.2]
amostra =
Columns 1 through 10:
0.4000 0.3200 0.2000 0.2000 0.3800 0.4400 0.4800 0.3800 0.2600 1.1200
Columns 11 through 18:
0.6800 0.7100 0.6800 0.7300 0.7300 0.7100 0.2000 0.2000
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

As Figura 30, 31 e 32 apresentam o histograma e o passo a passo utilizado no *software*

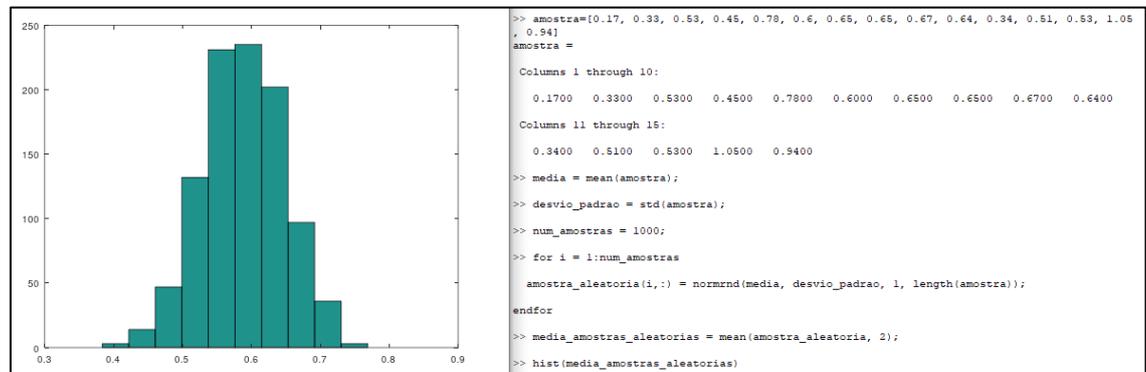
para teste de normalidade pelo TLC. Os histogramas indicam que nos três anos analisados, a distribuição dos dados é aproximadamente simétrica. Dessa forma, pode-se afirmar com um nível de confiança significativo que a população analisada no serviço de revestimento interno é normalmente distribuída.

Figura 30 – Teorema do Limite Central para indicador de revestimento interno (pisos) em 2018



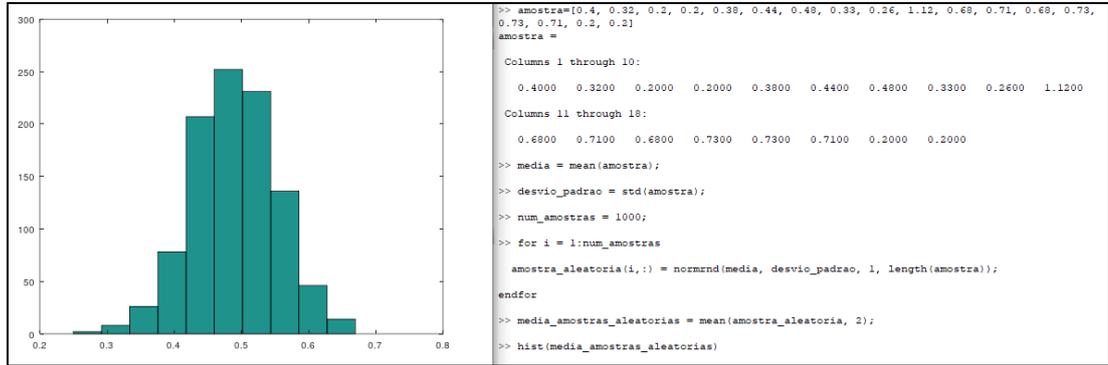
Fonte: Autora (2023)

Figura 31 – Teorema do Limite Central para indicador de revestimento interno (pisos) em 2019



Fonte: Autora (2023)

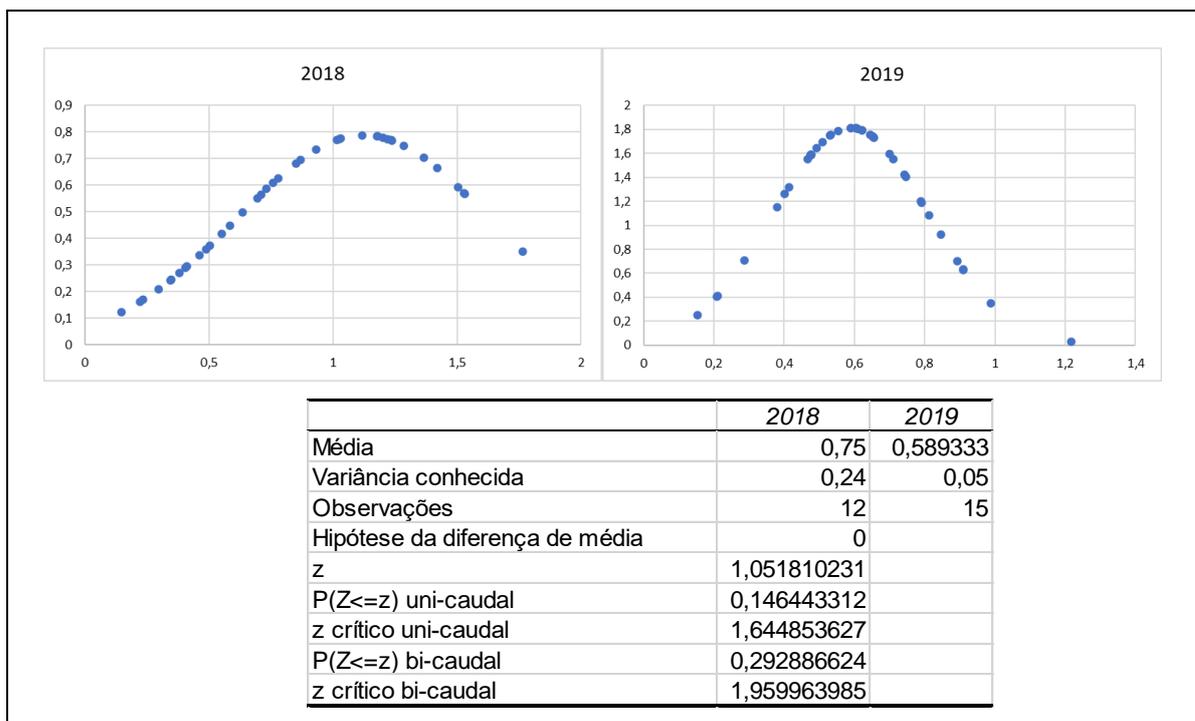
Figura 32 – Teorema do Limite Central para indicador de revestimento interno (pisos) em 2020



Fonte: Autora (2023)

A comparação da produtividade nos anos de 2018 e 2019 é apresentada na Figura 33. Esse resultado indica que não há diferença significativa na produtividade do serviço de revestimento interno entre os anos de 2018 e 2019, uma vez que o valor do teste z (1,05) não ultrapassou o valor crítico (1,64) e o valor de P (0,14) é maior que o nível de significância adotado (0,05). Em outras palavras, não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que não há diferença na produtividade entre os dois anos.

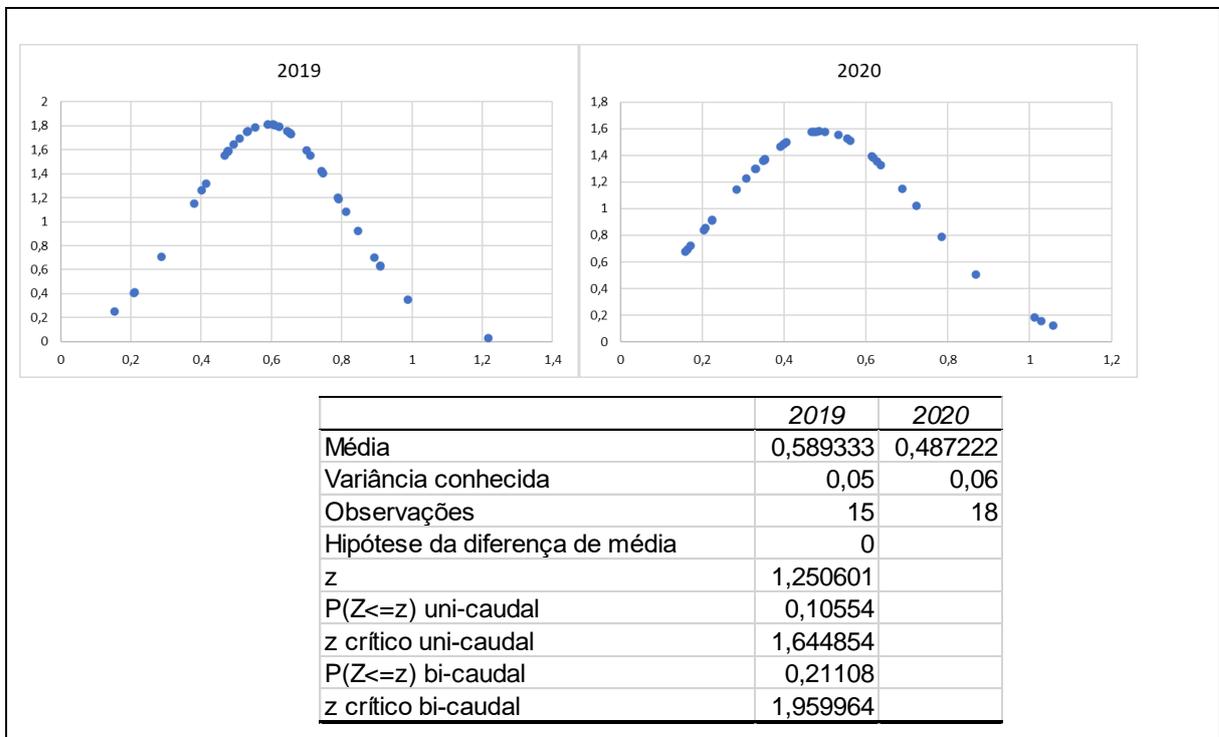
Figura 33 – Teste z para indicador de revestimento interno (pisos) (2018-2019)



Fonte: Autora (2023)

Assim como no comparativo de 2018 e 2019, o comparativo de 2019 e 2020 mostra que não há uma diferença estatisticamente significativa de produtividades entre os dois anos analisados. A Figura 34 ilustra o resultado do teste z, no qual z apresentou valor correspondendo a 1,25, menor que o valor crítico de 1,64, por este fato, não deve-se rejeitar a hipótese nula e concluir que não há diferença estatisticamente significativa de produtividade entre os anos de 2019-2020. Além disso, a probabilidade de se obter um valor de z igual ou maior que 1,25, assumindo que a hipótese nula é verdadeira, é de 0,1.

Figura 34 – Teste z para indicador de revestimento interno (piso) (2019-2020)



Fonte: Autora (2023)

Os resultados provenientes dos testes estatísticos são importantes para nortear a análise do serviço. Durante as visitas e reuniões do Clube, os engenheiros responsáveis retrataram a dificuldade da análise comparativa do serviço de revestimento interno aplicado no piso, pois mesmo sendo uma análise relacionada ao metro quadrado do serviço executado, a forma e as características deste serviço podem sofrer variações. O tamanho da pedra utilizada, o tipo de pedra e a área de aplicação são fatores que interferem diretamente na produtividade e podem gerar individualidades que dificultam a análise comparativa. Cerca de 41% dos dados coletados em 2018 indicaram índices melhores de produtividade de reboco interno que a (TCPO/Pini), 17% em 2019 e 16% em 2020.

Em reunião do Clube de *benchmarking* realizada no dia 11 de setembro de 2019, o empreendimento G1 apresentou seu caso de sucesso para obter o melhor índice neste serviço. A engenheira responsável pela obra pontuou que as melhores práticas utilizadas estão relacionadas à logística de materiais no canteiro, a escolha de profissionais adequados para o serviço, a repetição do serviço e características da própria arquitetura do empreendimento, com vão grandes, sem muitos recortes e apenas uma partida. Em relação à escolha dos profissionais, a engenheira destacou que é realizado um acompanhamento mensal de produtividade de forma individual.

Existe uma meta de produtividade por mês e os pedreiros são avaliados se estão próximos ou acima da média, sendo realizado os ajustes necessários na equipe quando identificado que algum funcionário não estava evoluindo no serviço. Além disso, os funcionários eram alocados nas mesmas terminações, para colaborar com a curva de aprendizado e evitar erros e retrabalhos. A engenheira reforçou que o acompanhamento é de suma importância, pois quando a produtividade diminuiu no serviço de revestimento, foi identificado que a paginação e o tamanho da pedra eram diferentes nas áreas comuns do empreendimento em comparação com a unidade residencial.

4.1.5 Concreto-Fôrma

No serviço concreto-fôrma, que corresponde a execução das formas de concreto normalmente utilizadas para pilares, vigas e lajes, dos vinte empreendimentos participantes, foram registrados dados de seis empreendimentos em 2018, sete em 2019 e quatro empreendimentos em 2020. Os dados analisados correspondem aos enviados pelos empreendimentos A1, C1, C2, D1, D2, D3, D4, D5, E1, F1, H1, H2, I1 e K1, que estavam realizando o serviço durante o período de coleta.

Como os anos de 2019 e 2020 apresentaram um quantitativo menor que trinta amostras, foi necessário realizar os testes para verificar se as amostras eram normalmente distribuídas. As Figuras 35 e 36 apresentam os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov realizados no *software GNU Octave*. O primeiro teste resultou em $h = 1$ nos dois anos, que não comprova normalidade das amostras pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo necessário realizar um segundo teste (TLC), que por meio dos histogramas, apresentados nas Figuras 37 e 38 indicam que se pode afirmar com um nível de confiança significativo que as populações analisadas no serviço de concreto-fôrma são normalmente distribuídas, pois a distribuição de dados é aproximadamente simétrica.

Figura 35 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-fôrma em 2019

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x19	[0.6700, 0.6400, 1.0800, 2.5100, 2.3500, ...]
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.6664
p	double	1x1	2.6413e-08

```

>> amostra=[0.67, 0.64, 1.08, 2.51, 2.35, 1.09, 2.81, 1.86, 0.7, 0.8, 1.14, 0.56, 0.57, 0.67, 0.64, 1.9, 0.43, 0.76, 1.56]
amostra =

Columns 1 through 10:
    0.6700    0.6400    1.0800    2.5100    2.3500    1.0900    2.8100    1.8600    0.7000    0.8000

Columns 11 through 19:
    1.1400    0.5600    0.5700    0.6700    0.6400    1.9000    0.4300    0.7600    1.5600

>> [h, p, k] = kstest(amostra);

```

Fonte: Autora (2023)

Figura 36 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-fôrma em 2020

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x11	[0.1100, 0.1100, 0.020000, 0.050000, ...]
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5080
p	double	1x1	3.7234e-03

```

>> amostra=[0.11, 0.11, 0.02, 0.05, 0.04, 0.02, 0.02, 0.02, 0.04, 0.05, 2.36]
amostra =

Columns 1 through 8:
    0.110000    0.110000    0.020000    0.050000    0.040000    0.020000    0.020000    0.020000

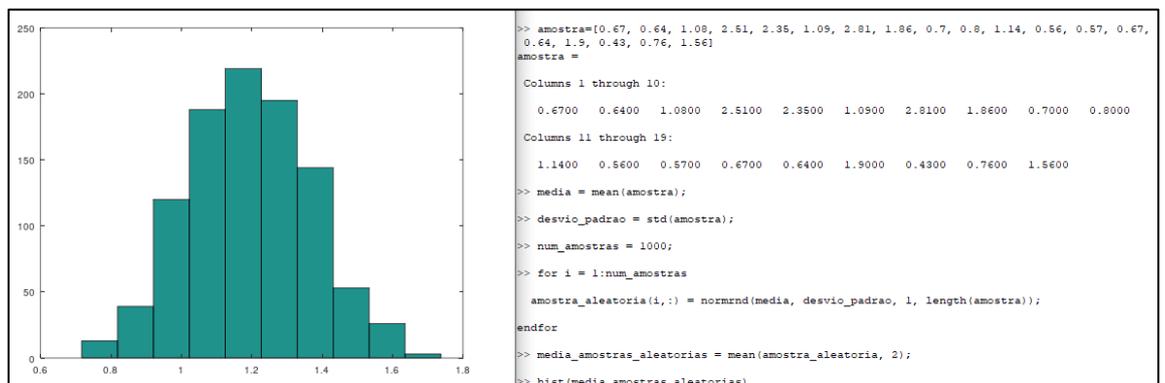
Columns 9 through 11:
    0.040000    0.050000    2.360000

>> [h, p, k] = kstest(amostra);

```

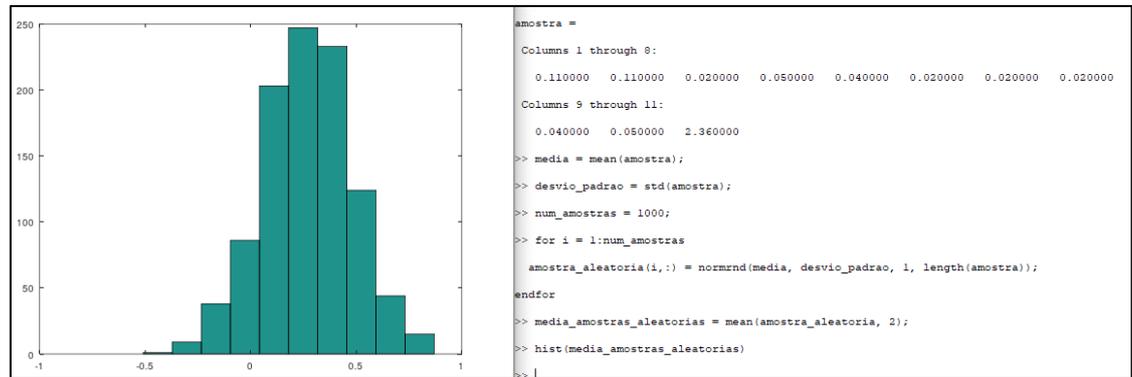
Fonte: Autora (2023)

Figura 37 – Teorema do Limite Central para indicador de concreto-fôrma em 2019



Fonte: Autora (2023)

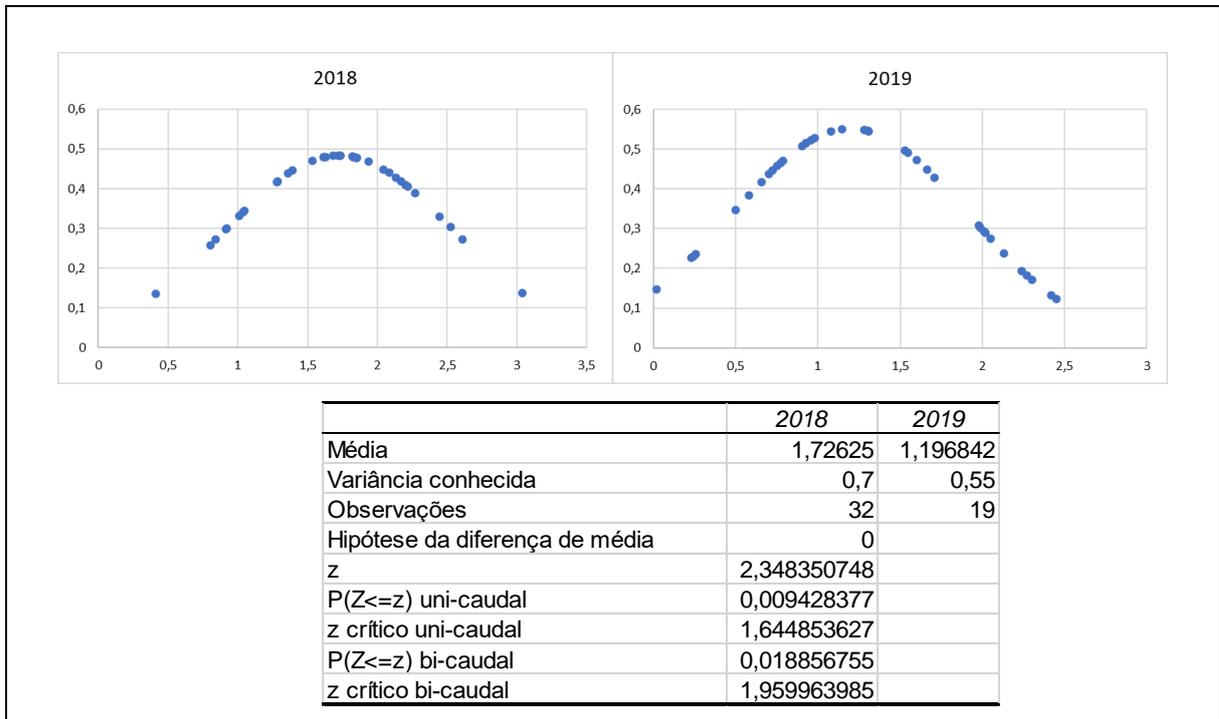
Figura 38 – Teorema do Limite Central para indicador de concreto-fôrma em 2020



Fonte: Autora (2023)

A partir dos resultados dos testes de normalidade, o teste z foi realizado, apresentando o comparativo da produtividade das empresas participantes entre os anos de 2018 e 2019, ilustrado na Figura 39, com a representação da distribuição normal para os dois anos analisados e o resultado do teste z. Esse resultado indica que há uma diferença estatisticamente significativa na produtividade entre os anos de 2018 e 2019. Como o valor de z calculado (2,34) é maior que o valor de z crítico uni-caudal (1,64), rejeitamos a hipótese nula de que não há diferença na produtividade entre os anos. Além disso, o valor de $P(Z \leq z)$ uni-caudal (0,009) indica que a probabilidade de obter um resultado tão extremo quanto o observado, assumindo que a hipótese nula é verdadeira, é muito baixa, o que fortalece ainda mais a evidência de que a hipótese nula deve ser rejeitada.

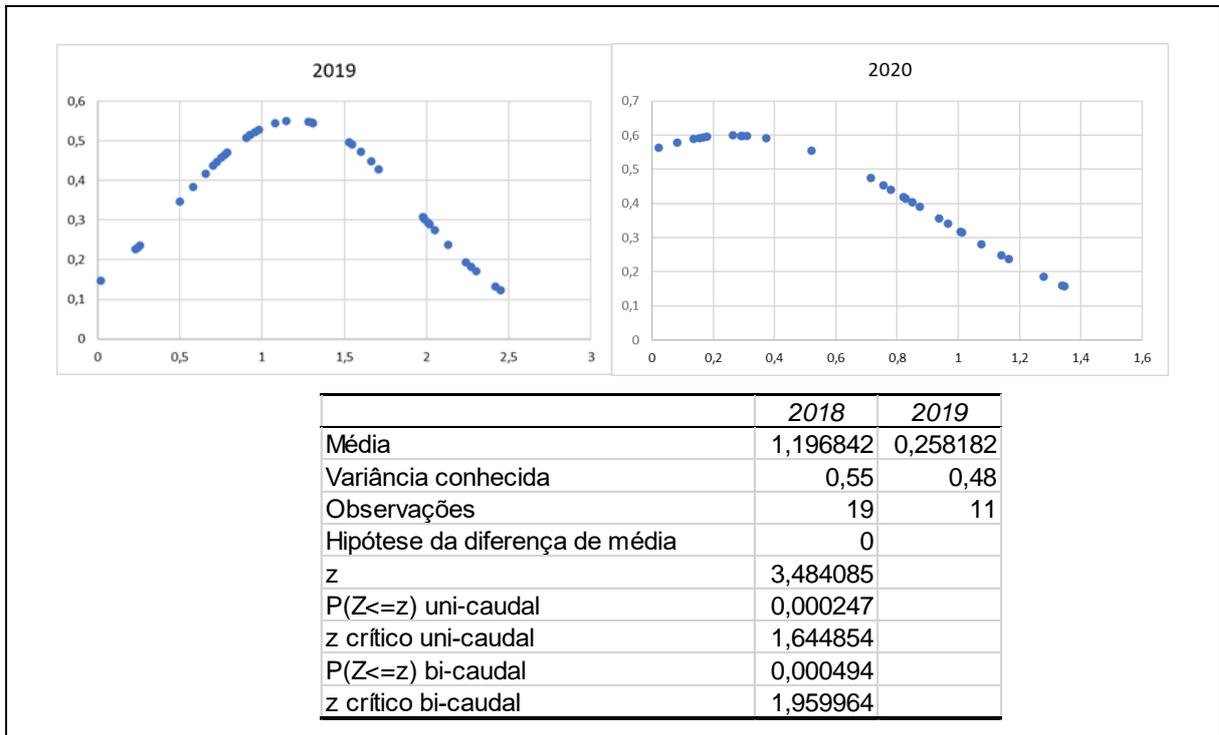
Figura 39 – Teste z para indicador de concreto-fôrma (2018-2019)



Fonte: Autora (2023)

O resultado do teste z para os anos de 2019 e 2020, indica que há uma diferença estatisticamente significativa na produtividade entre os dois anos analisados. Como o valor de z é maior do que o valor crítico de 1,64, podemos rejeitar a hipótese nula de que não há diferença na produtividade entre os dois anos. O valor de $P(Z \leq z)$ uni-caudal de 0,0002 indica que a probabilidade de obter um resultado tão extremo quanto esse, se a hipótese nula fosse verdadeira, é muito baixa, o que reforça a evidência a favor da rejeição da hipótese nula.

Figura 40 – Teste z para indicador de concreto-fôrma (2019-2020)



Fonte: Autora (2023)

A evolução da produtividade deste serviço é um forte fator positivo, que reforça a importância do acompanhamento dos indicadores de produtividade e do compartilhamento de boas práticas. Dentre as principais boas práticas citadas nas reuniões do Clube de *benchmarking* no serviço de execução de fôrmas para concreto destacam-se a seleção de equipe de carpinteiros experientes, a padronização das fôrmas e o fornecimento de equipamentos adequados. Como este é um serviço fundamental para a etapa de concretagem, o atraso na execução pode gerar grande prejuízo financeiro.

De acordo com os engenheiros, a seleção de carpinteiros experientes auxilia na execução do serviço, pois a leitura e entendimento do projeto ocorre de forma mais rápida e segura. Além disso, uma boa equipe busca seguir o planejamento definido e realiza a manutenção correta do material, que em muitos casos é reutilizado nas vigas, lajes e pilares seguintes. A padronização das fôrmas já deve ser algo analisado desde a etapa de projetos, para gerar um ganho financeiro tanto no material, quanto no aumento da produtividade da equipe, que segue a curva de aprendizado devido a repetição do serviço. Cerca de 18% dos dados coletados em 2018 indicaram índices melhores de produtividade de reboco interno que a (TCPO/Pini), 68% em 2019 e 90% em 2020.

4.1.6 Concreto-Armadura

No serviço concreto-armadura que corresponde a execução das armações para pilares, vigas e lajes, dos vinte empreendimentos participantes, foram registrados dados de seis empreendimentos em 2018, sete em 2019 e três empreendimentos em 2020. Os dados analisados correspondem aos enviados pelos empreendimentos A1, C1, C2, D1, D3, D4, D5, E1, F1, H1, H2, I1 e K1, que estavam realizando o serviço durante o período de coleta.

Foi necessário realizar os testes para verificar se as amostras eram normalmente distribuídas nos anos de 2019 e 2020. As Figura 41 e 42 apresentam os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov realizados no *software GNU Octave*. O primeiro teste resultou em $h = 1$ nos dois anos, que não comprova normalidade das amostras pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo necessário realizar um segundo teste (TLC), que por meio dos histogramas, apresentados nas Figuras 43 e 44, indicam que se pode afirmar com um nível de confiança significativo que as populações analisadas no serviço de concreto-armadura são normalmente distribuídas, pois a distribuição de dados é aproximadamente simétrica.

Figura 41 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-armadura em 2019

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x23	[0.060000, 0.050000, 0.090000, 0.05...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5040
p	double	1x1	6.2091e-06

```

amostra =
Columns 1 through 8:
 0.060000  0.050000  0.090000  0.050000  0.060000  0.060000  0.110000  0.140000
Columns 9 through 16:
 0.070000  0.100000  0.060000  0.120000  0.090000  0.060000  0.070000  0.070000
Columns 17 through 23:
 0.170000  0.010000  0.040000  0.160000  0.100000  0.270000  0.190000
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

Figura 42 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-armadura em 2020

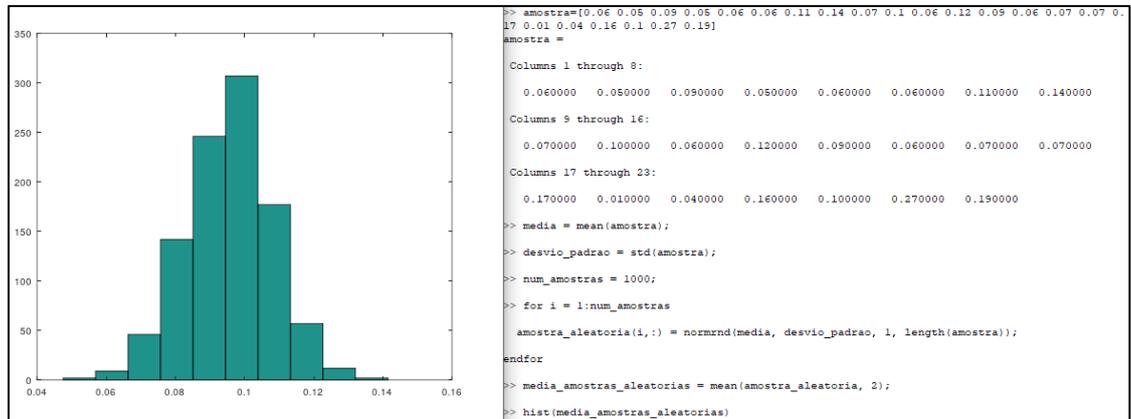
Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x5	[0.010000, 0.010000, 0.010000, 0.02...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5040
p	double	1x1	6.2091e-06

```

>> amostra=[0.01 0.01 0.01 0.02 0.01]
amostra =
 0.010000  0.010000  0.010000  0.020000  0.010000
>> |
    
```

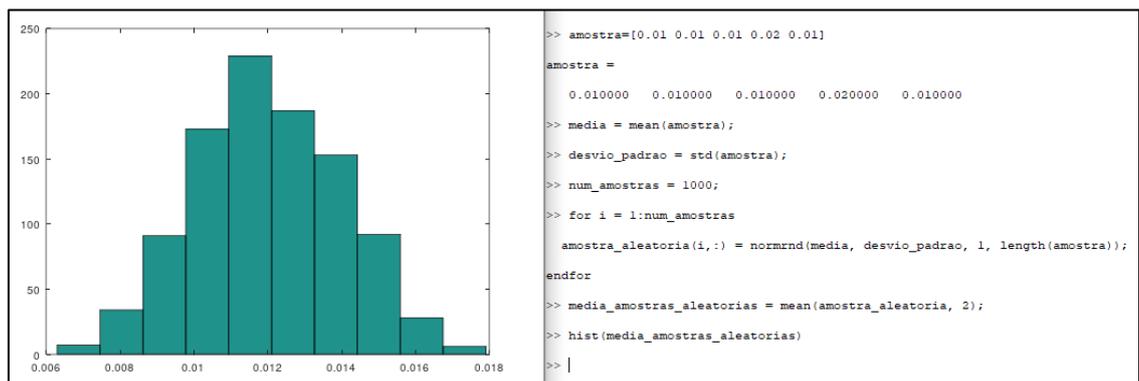
Fonte: Autora (2023)

Figura 43 – Teorema do Limite Central para indicador de concreto-armadura em 2019



Fonte: Autora (2023)

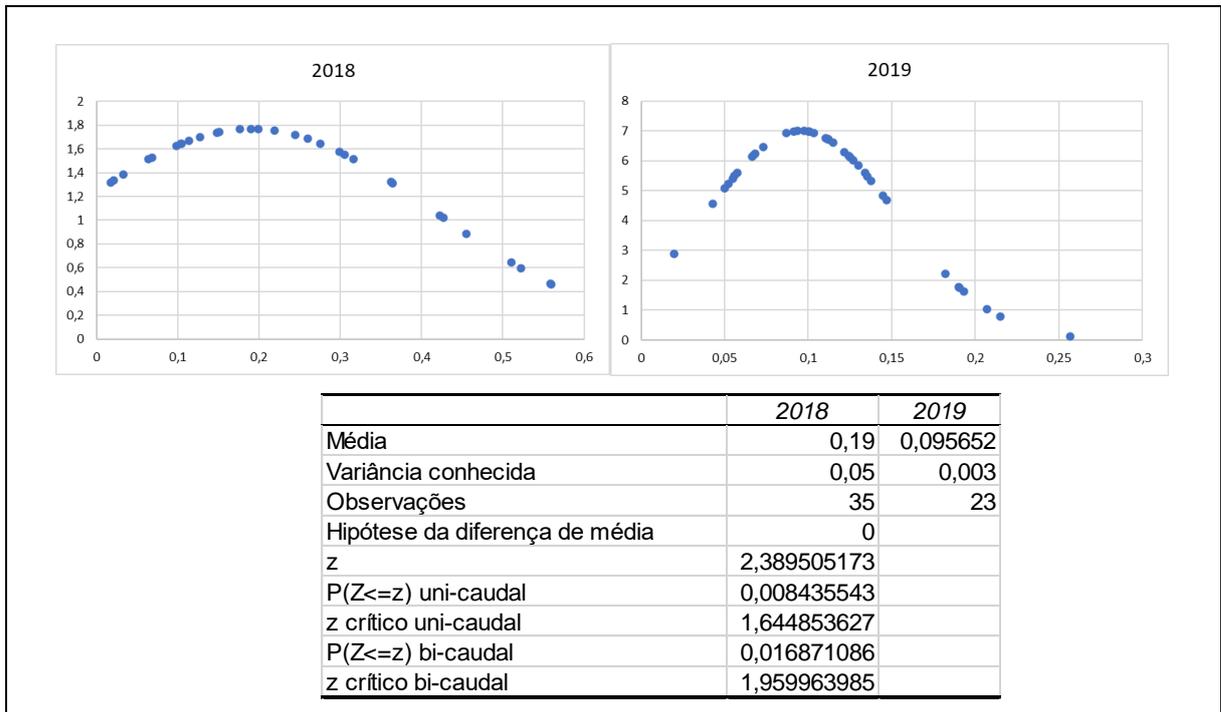
Figura 44 – Teorema do Limite Central para indicador de concreto-armadura em 2020



Fonte: Autora (2023)

Com esses resultados, é possível realizar o teste z. A Figura 45 apresenta o comparativo da produtividade das empresas participantes entre os anos de 2018 e 2019. Esse resultado representa que a diferença observada na produtividade entre os dois anos é significativa estatisticamente, e é improvável que essa diferença tenha ocorrido apenas por acaso. O valor de z de 2,38 indica que a diferença entre as médias é 2,38 vezes maior do que o desvio padrão das diferenças amostrais. Além disso, o valor $P(Z \leq z)$ uni-caudal de 0,008 indica que a probabilidade de obter um valor tão extremo ou mais extremo que o valor observado de z é de apenas 0,008, o que é menor do que o nível de significância adotado de 0,05. Portanto, rejeitamos a hipótese nula de que a produtividade foi igual nos dois anos.

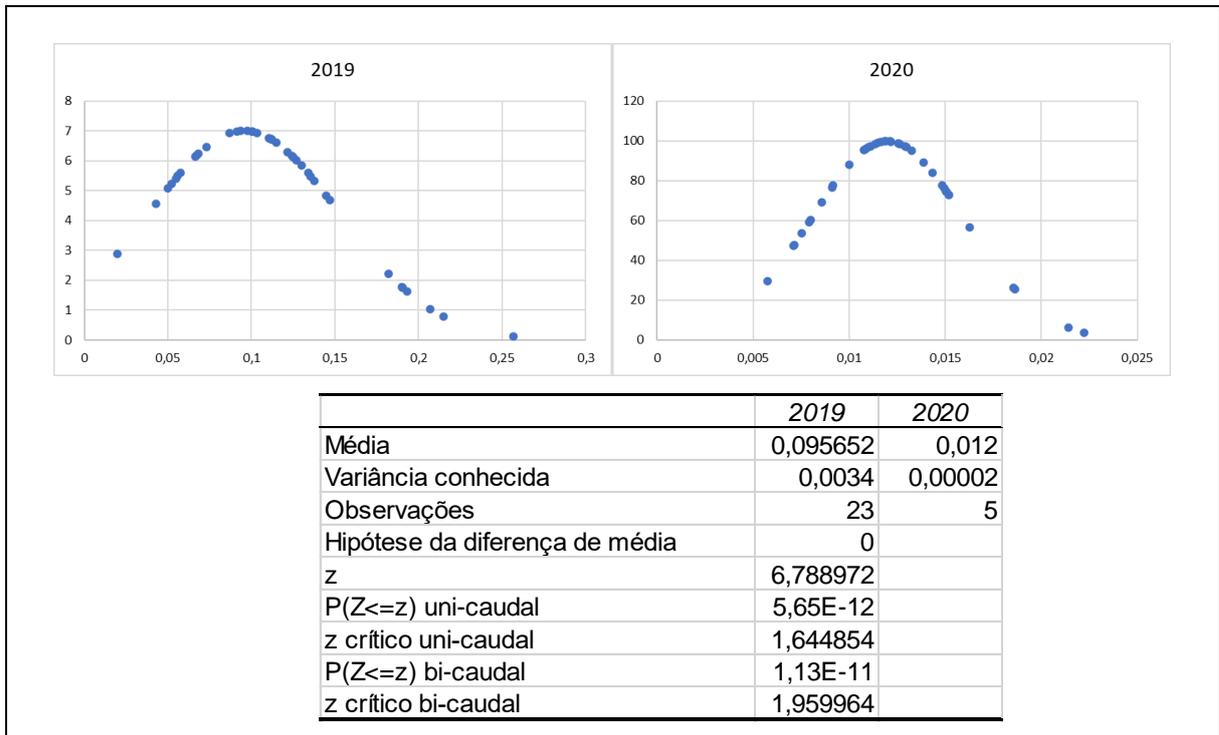
Figura 45 – Teste z para indicador de concreto-armadura (2018-2019)



Fonte: Autora (2023)

Na análise comparativa entre os anos de 2019 e 2020, apresentada na Figura 46, conclui-se que a diferença entre as produtividades nos dois anos é estatisticamente significativa, ou seja, há evidências de que a produtividade foi diferente entre os dois anos. A probabilidade de obter um resultado tão extremo quanto o observado (ou mais extremo) sob a hipótese nula de que não há diferença na produtividade é muito baixa. Isso sugere que é muito improvável que a diferença observada tenha ocorrido ao acaso e fornece suporte para rejeitar a hipótese nula de que as produtividades foram iguais nos dois anos.

Figura 46 – Teste z para indicador de concreto-armadura (2019-2020)



Fonte: Autora (2023)

O serviço de concreto-armadura apresentou evolução ao longo dos anos estudados. Cerca de 17% dos dados coletados em 2018 indicaram índices melhores de produtividade de reboco interno que a (TCPO/Pini), 52% em 2019 e 100% em 2020. Assim como já citado em outros serviços, a seleção de profissionais experientes é um dos principais fatores que promovem a alta produtividade neste serviço. Além disso, existem outros fatores importantes, como solicitar a entrega do material cortado e dobrado, que reduz o tempo gasto na execução desta tarefa. Como vários profissionais estão envolvidos no serviço de armação de uma laje por exemplo, é imprescindível a sintonia entre eles, para evitar incompatibilidades que gerem retrabalho à equipe.

O engenheiro responsável pelo empreendimento D1, uma obra com dez pavimentos e doze apartamentos por andar, apresentou na reunião do Clube de *benchmarking* do dia 05 de agosto de 2020, que com a finalização de algumas obras da mesma construtora, a gestão de engenharia decidir selecionar os melhores profissionais de cada área e alocar nos empreendimentos que estavam em andamento de acordo com a necessidade, com o objetivo de aumentar a produtividade. Como este empreendimento estava em etapa inicial a equipe de armação selecionada foi alocada para ele, e ao longo dos meses coletados apresentou uma das maiores produtividades entre as obras analisadas.

4.1.6 Concreto-Concretagem

No serviço de concreto-concretagem, que representa a execução do serviço de concretagem, dos vinte empreendimentos participantes, cinco forneceram dados em 2018, sete em 2019 e quatro em 2020. Os dados analisados correspondem aos enviados pelos empreendimentos A1, C1, C2, D1, D2, D3, D4, D5, E1, H1, H2, I1 e K1, que estavam realizando o serviço durante o período de coleta. Todos os anos analisados possuíam amostra menor que trinta, por isso foi necessário verificar se as amostras eram normalmente distribuídas. As Figuras 47, 48 e 49 apresentam os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov realizados no *software GNU Octave*. O resultado para os três anos foi de $h = 1$, que não comprova normalidade da amostra pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Figura 47 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-concretagem em 2018

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x24	[0.8300, 0.6600, 0.8600, 0.8300, 0.75...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.7454
p	double	1x1	9.7201e-13

```

>> amostra=[0.83, 0.66, 0.86, 0.83, 0.75, 2.55, 1.82, 1.44, 1.83, 0.88, 0.88, 0.94, 0.73, 0.6
8, 0.86, 0.94, 0.92, 0.68, 0.83, 0.81, 0.77, 0.83, 0.82, 0.83]
amostra =
Columns 1 through 10:
 0.8300  0.6600  0.8600  0.8300  0.7500  2.5500  1.8200  1.4400  1.8300  0.8300
Columns 11 through 20:
 0.8800  0.9400  0.7300  0.6800  0.8600  0.9400  0.9200  0.6800  0.8300  0.9100
Columns 21 through 24:
 0.7700  0.8300  0.8200  0.8300
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

Figura 48 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-concretagem em 2019

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x19	[0.8800, 0.8800, 0.8800, 2.3600, 2.49...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5557
p	double	1x1	4.7654e-06

```

>> amostra=[0.88, 0.88, 0.88, 2.36, 2.49, 2.24, 0.56, 2.25, 1.05, 0.8, 1.74, 0.18, 0.15, 1.74
, 2.61, 0.24, 0.42, 0.14, 0.18]
amostra =
Columns 1 through 10:
 0.8800  0.8800  0.8800  2.3600  2.4900  2.2400  0.5600  2.2500  1.0500  0.3000
Columns 11 through 19:
 1.7400  0.1800  0.1900  1.7400  2.6100  0.2400  0.4200  0.1400  0.1800
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
    
```

Fonte: Autora (2023)

Figura 49 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para indicador de concreto-concretagem em 2020

Nome	Classe	Dimensão	Valor
amostra	double	1x8	[0.3000, 0.2100, 0.2100, 0.2200, 0.11...
h	logical	1x1	1
k	double	1x1	0.5438
p	double	1x1	9.5962e-03

```

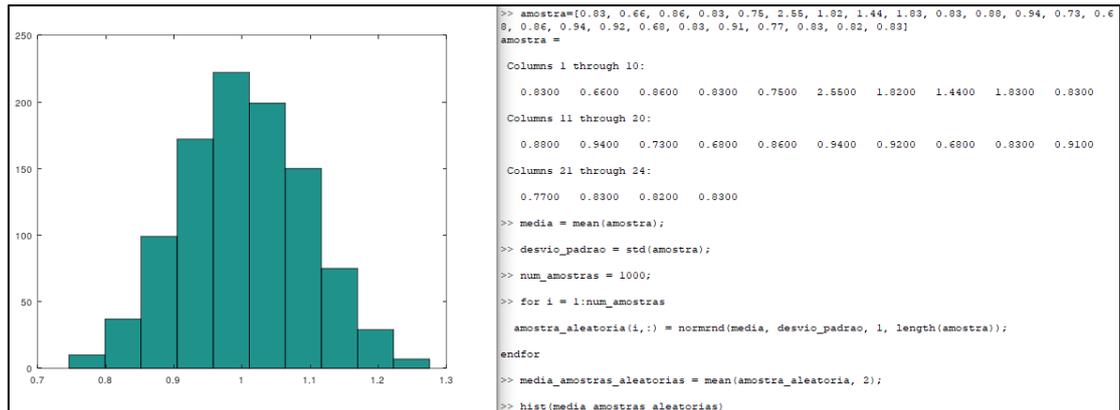
>> amostra=[0.3, 0.21, 0.21, 0.22, 0.11, 0.16, 0.8, 0.11]
amostra =
 0.3000  0.2100  0.2100  0.2200  0.1100  0.1600  0.8000  0.1100
>> [h, p, k] = kstest(amostra);
>> |
    
```

Fonte: Autora (2023)

As Figuras 50, 51 e 52 apresentam o histograma e o passo a passo utilizado no *software*

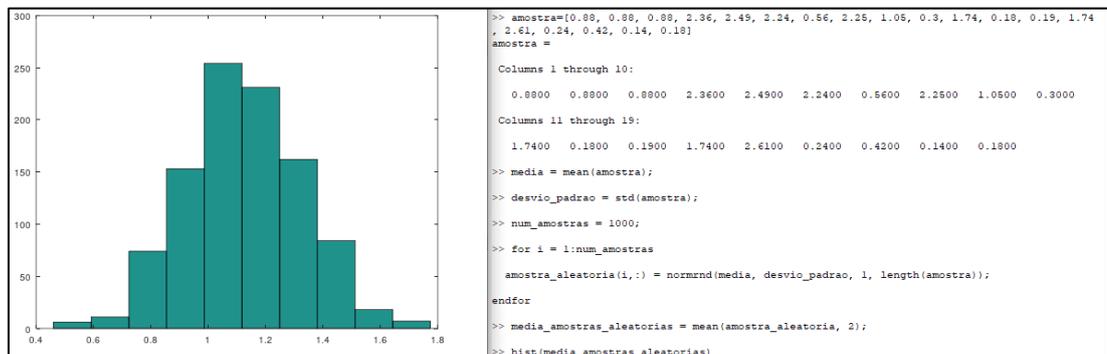
para teste de normalidade pelo Teorema do Limite Central. Os histogramas indicam que nos três anos analisados, a distribuição dos dados é aproximadamente simétrica. Dessa forma, pode-se afirmar com um nível de confiança significativo que a população analisada no serviço de revestimento interno é normalmente distribuída.

Figura 50 – Teorema do Limite Central para indicador de concreto-concretagem em 2018



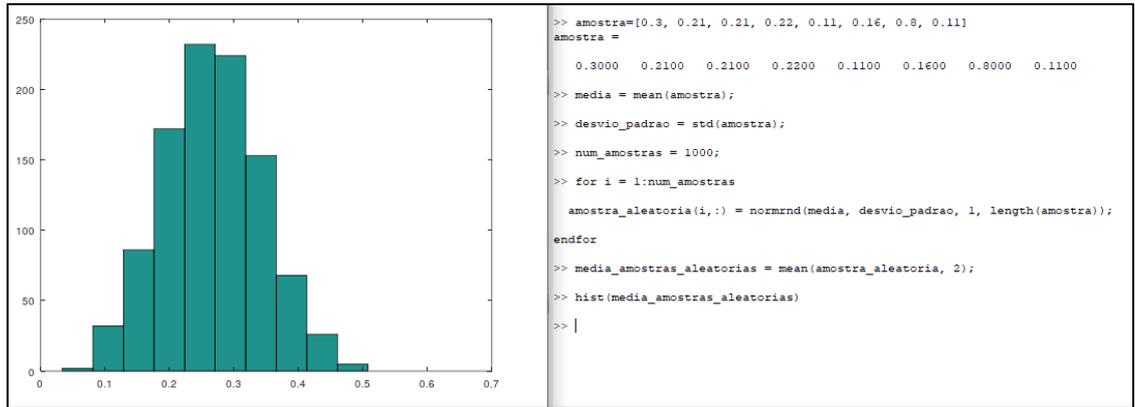
Fonte: Autora (2023)

Figura 51 – Teorema do Limite Central para indicador de concreto-concretagem em 2019



Fonte: Autora (2023)

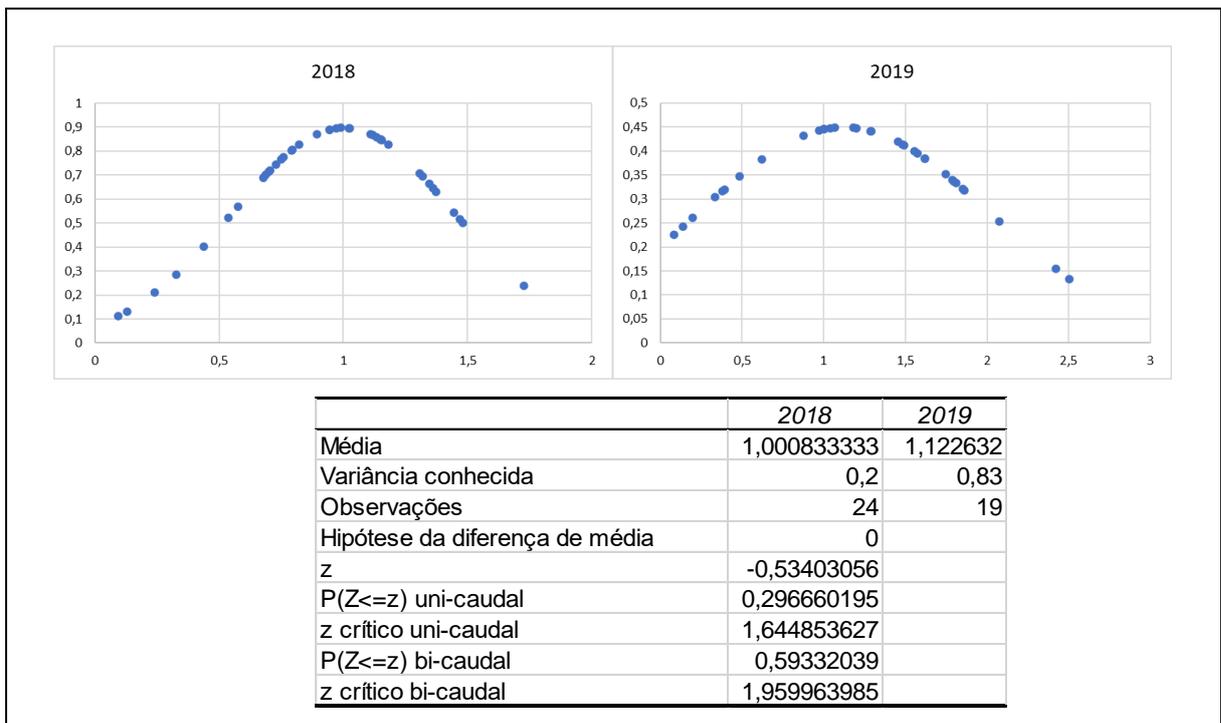
Figura 52 – Teorema do Limite Central para indicador de concreto-concretagem em 2020



Fonte: Autora (2023)

A comparação da produtividade nos anos de 2018 e 2019 é apresentada na Figura 53. Esse resultado significa que não há diferença significativa na produtividade entre os anos de 2018 e 2019. O valor de z obtido (-0,53) está abaixo do valor crítico uni-caudal (1,64) e o valor de $P(Z \leq z)$ uni-caudal é de 0,29, o que indica que a hipótese nula de que a produtividade é igual nos dois anos não deve ser rejeitada. Dessa forma, podemos afirmar com 95% de confiança que a produtividade não apresentou diferença significativa entre os dois anos estudados.

Figura 53 – Teste z para indicador de concreto-concretagem (2018-2019)

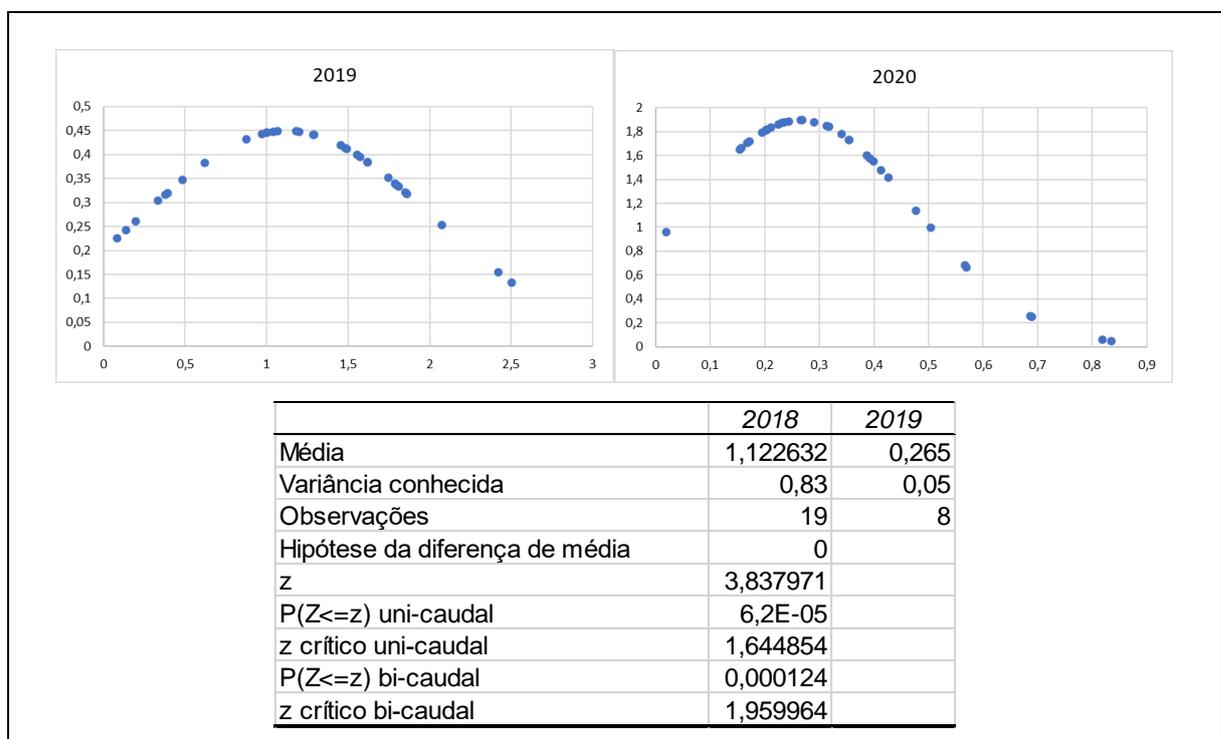


Fonte: Autora (2023)

A Figura 54 ilustra o resultado do teste z no comparativo entre os anos de 2019 e 2020,

o resultado obtido representa que a diferença entre a produtividade dos anos de 2019 e 2020 é estatisticamente significativa, ou seja, é improvável que a diferença observada entre esses anos seja resultado do acaso. O valor de z obtido indica que a diferença entre as médias é 3,83 vezes maior do que a variação esperada pela hipótese nula de que as médias são iguais. Dessa forma, é possível dizer que a produtividade das empresas participantes neste estudo foi maior em 2020 do que em 2019.

Figura 54 – Teste z para indicador de concreto-concretagem (2019-2020)



Fonte: Autora (2023)

O serviço de concretagem sucede os serviços de execução de fôrma e armação, e os três estão interligados, de maneira que a execução incorreta de um, dificulta a logística de execução do outro. Por isso, na etapa de realização da concretagem é fundamental que as fôrmas e a armação estejam adequadas, pois além da diminuição da produtividade em caso de problemas com esses dois elementos, também podem ocorrer prejuízos para a edificação. Cerca de 87% dos dados coletados em 2018 indicaram índices melhores de produtividade de reboco interno que a (TCPO/Pini), 63% em 2019 e 100% em 2020.

Dentre as boas práticas citadas nas reuniões do Clube, destacam-se as relatadas na reunião do dia 05 de agosto de 2020 no caso de sucesso do empreendimento I1. O engenheiro responsável pela obra de duas torres com dezoito pavimentos cada e oito apartamentos por

andar, informou que a parceria com concreteiras e a padronização da logística do serviço de concretagem, são dois pontos primordiais para garantir a alta produtividade neste serviço. Os engenheiros do Clube relataram que os problemas com as concreteiras dificultam a execução do serviço, pois o atraso do material ou a entrega do concreto com problemas de dosagem faz com que a equipe fique ociosa e diminui o ritmo de execução do serviço.

Por isso, uma das recomendações é, ao iniciar uma obra, realizar uma parceria com uma ou mais empresas concreteiras que ficarão responsáveis pelo fornecimento do concreto. Essa exclusividade permite que a empresa tenha prioridade na escolha dos dias de concretagem e promove uma garantia contratual em caso de atrasos ou devoluções do material. Além disso, outro fator importante é a formação de uma equipe padrão para a realização do serviço. Alguns engenheiros relataram que realizavam rodízio de pedreiros e serventes nos dias de concretagem, no entanto, empreendimentos com os melhores índices informaram que a criação de uma equipe padrão convocada para os dias de concretagem evita erros de logística e de execução.

A partir da análise dos resultados dos indicadores de produtividade realizados no item 4.1 foi desenvolvido o Quadro 9, que consiste em uma síntese da análise comparativa dos indicadores de produtividade, para identificar quais serviços apresentaram evidências estatísticas significativas de aumento da produtividade com base no comparativo entre os anos de 2018 e 2019 e os anos de 2019 e 2020 de acordo com os resultados obtidos através do método de análise estatística, teste z.

Quadro 9 – Síntese da análise comparativa dos indicadores de produtividade

Indicador	O indicador apresentou evidências estatísticas suficientes de aumento de produtividade de 2018 para 2019?		O indicador apresentou evidências estatísticas suficientes de aumento de produtividade de 2019 para 2020?	
	Sim	Não	Sim	Não
Alvenaria (bloco cerâmico)		X	X	
Reboco interno (argamassa)		X		X
Contrapiso		X	X	
Revestimento interno (pisos)		X		X
Concreto-Fôrma	X		X	

Concreto-Armadura	X		X	
Concreto-Concretagem		X	X	

Fonte: Autora (2023)

Os resultados apresentados no Quadro 9 indicam que, de acordo com o método estatístico de comparação entre duas amostras, apenas dois serviços apresentaram evidências estatísticas de aumento da produtividade no comparativo entre os anos de 2018 e 2019. No entanto, no comparativo de 2019 para 2020, cinco serviços apresentaram evidências de aumento da produtividade. É importante ressaltar que nos serviços que não indicaram aumento da produtividade, não foi indicado piora, e sim, que de acordo com o método de análise utilizado não seria possível descartar a hipótese nula de que a produtividade foi igual nos dois anos.

Isso pode estar associado aos fatos de que os fatores que influenciaram a produtividade nesses dois anos foram semelhantes, ou que outras variáveis que não foram consideradas no teste possam ter afetado o resultado. A análise estatística é uma importante ferramenta para ajudar a compreender os dados, no entanto, é fundamental ressaltar que outras considerações devem ser levadas em conta na tomada de decisões. Por isso, a análise de arquivos é de suma importância para a análise de indicadores de produtividade associados à prática do *benchmarking*, por fornecer informações sobre cada empreendimento, as características de cada serviço e as possíveis dificuldades de coleta.

A principal inferência que se pode deduzir dos resultados ilustrados no Quadro 9 é que os serviços apresentaram melhora da produtividade no decorrer dos anos. Cerca de 70% dos serviços estudados indicaram aumento do indicador de produtividade no último ciclo analisado. Diante deste cenário é possível compreender que os resultados advindos da implementação de indicadores associados à prática do *benchmarking* ocorrem no decorrer de alguns anos, sendo necessário realizar a avaliação periódica e a implementação de estratégias de melhoria contínua.

A melhora da produtividade está associada a um conjunto de estratégias que foram utilizadas pelo Grupo nos processos de implementação, coleta e análise dos indicadores. Dentre as principais estratégias utilizadas destacam-se, as visitas periódicas de acompanhamento às obras para realizar treinamentos e identificar possíveis problemas de coleta, a implementação do *site* para evitar falhas de coleta e armazenamento, e à prática do *benchmarking*, que permitiu a apresentação de casos de sucesso e discussões sobre formas de trabalho e implementações de melhorias na execução dos serviços.

4.2 CONTRIBUIÇÕES PARA COLETA E ANÁLISE DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

As contribuições apresentadas neste item estão baseadas nas etapas de processamento e análise do banco de dados (seção 3.2.4) e análise dos indicadores de produtividade (seção 4.1). Essas contribuições estão subdivididas em três tópicos, o primeiro corresponde à definição e caracterização dos indicadores, o segundo à coleta e ao armazenamento dos dados e por fim a análise dos dados.

4.2.1 Definição e caracterização dos indicadores

Uma das primeiras etapas no processo de implementação de indicadores é a etapa de definição dos indicadores que serão analisados. No estudo que serviu de base para este trabalho a definição dos indicadores foi realizada no dia 10 de novembro de 2016 em reunião do Clube de *benchmarking*, e no decorrer da pesquisa os indicadores e a caracterização foram adaptados conforme a necessidade das empresas participantes. A última definição dos serviços com as especificações de zonas de execução e materiais utilizados foi encaminhada para os gestores em 20 de junho de 2019.

Os mais de dois anos e meio que separam a definição inicial da definição final dos indicadores impacta as análises pois dificulta a análise comparativa da evolução dos resultados. Para este trabalho, como o formulário utilizado em 2018 não possuía exatamente as mesmas especificações do formulário utilizado em 2019 e 2020, foi necessário realizar um estudo mais aprofundado dos formulários que eram enviados e verificar as especificações que os gestores colocavam através de comentários na célula em que inseriam a quantidade de serviço.

Por isso, definir quais indicadores serão analisados e quais são as especificações é uma das etapas fundamentais, pois é a base para o desenvolvimento de toda pesquisa. Essa definição pode ser realizada em conjunto com o Clube de *benchmarking*, na qual os pesquisadores podem fornecer o referencial teórico apresentando os principais indicadores abordados pela literatura. E a partir disso, junto com os gestores, definir quais são as especificações necessárias para cada serviço, de acordo com as necessidades de cada empreendimento.

Nos indicadores de produtividade, diversos serviços são analisados, dessa forma é importante definir quais são as características que diferenciarão um mesmo serviço, por exemplo, o serviço de alvenaria pode ser realizado com bloco de concreto, bloco cerâmico e bloco de gesso, e o parâmetro de análise será diferente para as três situações. A etapa de visita aos empreendimentos também deve preceder a definição final dos indicadores, pois através dos

registros fotográficos e das discussões individuais com os engenheiros novas especificações podem ser encontradas.

A subdivisão das caracterizações dos serviços permite que a análise comparativa seja coerente e o mais alinhada possível a realidade. Para realizar o *benchmarking*, é necessário comparar produtos o mais semelhante possível, pois assim aumentam as chances de uso das boas práticas que foram compartilhadas entre os responsáveis pelos empreendimentos.

4.2.2 Coleta e armazenamento dos dados

A etapa de coleta e armazenamento de dados tende a estar muito suscetível a erros, principalmente neste tipo de estudo, pois ela não é realizada por apenas uma pessoa, que reproduz em cada uma das obras. Em geral, a coleta é realizada pelo engenheiro responsável e alguns membros da equipe de engenharia após os treinamentos, no entanto, erros de interpretação sobre como calcular a hora homem trabalhada e a quantidade de serviço, podem gerar dados espúrios que deverão ser eliminados do processo de análise.

Para evitar esse tipo de problema, recomenda-se o monitoramento do processo de coleta. O monitoramento pode ser realizado por um dos pesquisadores durante os primeiros meses de coleta do empreendimento. O monitoramento garante a padronização do processo de coleta, tendo em vista que os pesquisadores que realizam as análises dos resultados poderão verificar em tempo real como é realizada a coleta por cada uma das empresas, já indicando as correções necessárias e sanando as possíveis dúvidas dos gestores. O indicado é que o monitoramento ocorra nos meses iniciais de coleta, sendo refeito sempre que identificado dados espúrios durante a análise. Para aumentar o tamanho da amostra, uma possibilidade é diminuir o intervalo de coleta, com dados semanais ou quinzenais, ao invés de mensais.

O armazenamento de dados está diretamente ligado ao processo de coleta, por isso um dos principais focos do Grupo de pesquisa foi desenvolver uma ferramenta computacional capaz de receber e armazenar os dados enviados pelas construtoras. Para isso, foi desenvolvido um *site*, dessa forma os dados são inseridos pelos próprios engenheiros, o que reduz as chances de erro, tendo em vista que o processo anterior consistia no envio de formulários por *e-mail*, os quais eram repassados do formulário para a planilha de indicadores pelos pesquisadores, o que poderia acarretar em digitação incorreta dos dados, esquecimento, exclusão e/ou sobreposição.

Além disso, existem diversas ferramentas computacionais que podem contribuir com este processo. Caso não seja possível desenvolver um *site*, a indicação é o uso de formulários online, no qual os dados contidos nas respostas podem ir automaticamente para uma planilha

que interliga as informações e realiza o cálculo do indicador. Sendo possível realizar um investimento no armazenamento de dados e também na etapa de análise pode ser desenvolvido um aplicativo, assim o engenheiro poderá registrar as informações rapidamente, bem como inserir registros fotográficos e visualizar os resultados de forma imediata.

4.2.3 Análise dos dados

A análise de dados é a etapa que norteia o desenvolvimento do projeto, indica as possíveis falhas, identifica os dados espúrios e apresenta os resultados dos indicadores. Esta etapa é o produto final, é o que a administração das empresas busca quando decide participar de um grupo de *benchmarking*, pois isso permite que as empresas identifiquem pontos de melhoria em seu ciclo produtivo e criem estratégias para solucionar os processos críticos. Baseado nisso, recomenda-se que a análise estatística seja realizada com frequência predefinida pelo grupo.

A análise permite visualizar a melhora, ou não, dos índices, e isso pode ser abordada nas reuniões de *benchmarking* para dar maior embasamento aos resultados. Uma das dificuldades para o uso de métodos estatístico é o tamanho da amostra que está sendo analisada, por isso o envio mensal frequente por parte das empresas é fundamental, pois a falta de dados prejudica não apenas a etapa de coleta, mas também a análise dos resultados, a avaliação comparativa e o compartilhamento de boas práticas. Por isso, o uso da ferramenta computacional também está associado ao processo de análise dos dados.

A recomendação é de que ao utilizar uma ferramenta, ela não seja apenas para o armazenamento dos dados, mas sim para a análise, com a projeção de gráficos comparativos entre os empreendimentos, entre meses retroativos e entre um parâmetro nacional ou regional do indicador. Essa visualização permite que o engenheiro verifique em tempo real os seus resultados, identificando de forma rápida a evolução da produtividade nos serviços, o que serve de embasamento para o planejamento físico-financeiro do empreendimento. Além disso, prepara os gestores para as reuniões de *benchmarking*, com o objetivo de expandir as boas práticas abordadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso foi propor contribuições para coleta e análise de dados de indicadores de produtividade que permitam avaliar o desempenho de empreendimentos na construção civil. Este objetivo, por sua vez, foi dividido em: identificar as dificuldades de implementação de indicadores de produtividade na construção civil; selecionar e testar métodos de análise para as variáveis coletadas e identificar as falhas na coleta e no armazenamento dos indicadores de produtividade.

Para identificar as dificuldades de implementação de indicadores de produtividade na construção civil, foi realizado um mapeamento sistemático da literatura simplificado (MS) e a análise de arquivos do Grupo de Pesquisa em Gestão e Economia das Construções do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Com o MS foi possível visualizar que as publicações aumentaram nos últimos anos, o que indica a importância da análise de indicadores de produtividade associados à prática do *benchmarking*.

Nas publicações estudadas do MS, as principais dificuldades de implementação abordadas estão relacionadas à padronização da medição, no que se refere à escolha prévia da ferramenta que será utilizada para medir, e nos processos de coleta realizados por diferentes funcionários, o que também foi identificado na análise de arquivos. Além disso, outra dificuldade apresentada foi a definição e especificação dos serviços que serão analisados nos indicadores de produtividade, o que pode prejudicar a prática do *benchmarking* durante a avaliação comparativa.

A partir do banco de dados do Grupo foram selecionados e testados métodos de análise para as variáveis coletadas. Para realizar a análise comparativa entre os anos estudados, foi selecionado o teste z para duas amostras, dessa forma as comparações dos serviços foram entre os anos de 2018 e 2019 e os anos de 2019 e 2020. Como algumas amostras possuíam tamanho menor que trinta foi necessário verificar se a amostra era normalmente distribuída para atender a esta condicionante do teste z. A normalidade foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e pelo Teorema do Limite Central (TLC).

Os resultados obtidos da análise comparativa a partir do teste z foram de que os serviços de alvenaria, contrapiso, concreto-fôrma, concreto-armadura e concreto-concretagem apresentaram evidências estatísticas significativas de que a produtividade melhorou no decorrer dos anos. Tal fato está relacionado à série de medidas implementadas pelo Grupo, como os treinamentos realizados tanto nas reuniões quanto nos empreendimentos, os seminários, o acompanhamento mensal dos dados coletados e as reuniões do Clube de *benchmarking* para

análise de resultados e o compartilhamento de boas práticas.

Além dos resultados da análise comparativa, os testes estatísticos permitiram identificar falhas na coleta e no armazenamento de dados. Isso foi evidenciado por dois fatores, a exclusão dos dados espúrios para a análise e a identificação de dados faltantes. Os dados espúrios foram comprovados pela análise de arquivos, pois nos relatórios parciais, nas apresentações e no relatório final havia a descrição dos empreendimentos que realizavam a coleta dos dados de forma incorreta. Apesar de alguns serviços não estarem sendo realizados durante o período de coleta este não foi o único motivo para os dados faltantes, pela análise de arquivos os empreendimentos informaram dificuldades em enviar dados nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro por serem meses com muitos feriados e período de férias das empresas.

A falta de dados prejudica a etapa de análise pois mascara as possíveis falhas, dificulta a análise comparativa e retarda a definição de estratégias para melhoria dos processos. Por isso, é fundamental que ao implementar um sistema de indicadores de produtividade associado à prática do *benchmarking* sejam promovidas uma série de melhorias que auxiliem as empresas a solucionar seus processos críticos. Os resultados dos indicadores de produtividade dos sete serviços analisados reforçam a importância da análise de indicadores de produtividade e do *benchmarking*.

Cinco serviços apresentaram melhora significativa da produtividade ao longo dos anos. Os resultados indicam que em todas as amostras em que houve diferença de produtividade na análise do teste z, ocorreu aumento da produtividade, e não o decréscimo. Cerca de onze empresas e vinte empreendimentos foram impactados diretamente com as atividades de treinamentos, seminários e compartilhamento de boas práticas durante os três anos analisados. O objetivo do Grupo de melhorar a produtividade e a competitividade no setor da construção civil em Alagoas, e atingir isso em pelo menos cinco serviços que impactam diretamente no cronograma e no custo da obra, além de estimular a parceria entre as construtoras, foi cumprido.

REFERÊNCIAS

- ASSAAD, R.; EL-ADAWAY, I. **Impact of Dynamic Workforce and Workplace Variables on the Productivity of the Construction Industry: New Gross Construction Productivity Indicator**. Journal of Management in Engineering, 2021.
- CAMP, R.C. **Benchmarking: identificando, analisando e adaptando as melhores práticas da administração que levam à maximização da performance empresarial: o caminho da qualidade total**. 3. ed São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.
- CAMPOS, V. F. **TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bloch Ed., 1992.
- COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. Indicadores de Produtividade e Perdas para Processos à Base de Cimento - Caderno de Resultados, 2013. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/ativos/351/indicadores-de-produtividade-perdas-para-processos-a-base-de-cimento-2013.html>>. Acesso em: 21 de abril de 2017.
- COSTA, D.B. **Diretrizes para Concepção, Implementação, e Uso de Sistemas de Indicadores de Desempenho para Empresas de Construção Civil**. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS. Porto Alegre, 2003.
- COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T. **Guidelines for the Development of Benchmarking Collaborative Process aiming at Implementing Improvements in Construction Companies**. In: CIB World Congress, 2010, Salford. Anais... Salford: Salford University, 2010.
- COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T.; LIMA, H.de R.; BARTH, K. B. **Sistema de Indicadores para Benchmarking na Construção Civil: Manual de Utilização**. Porto Alegre, 2005.
- COX, R.; ISSA, R.; AHRENS, D. **Management's Perception of Key Performance Indicators for Construction**. Journal of Construction Engineering and Management-asce, 2003.
- DANEL, T.; LAFHAJ, Z.; PUPPALA, A.; LIENARD, S.; RICHARD, P. **Proposal for Tower Crane Productivity Indicators Based on Data Analysis in the Era of Construction 4.0**. Buildings, 2021.
- EL-MASHALEH, M. S.; EDWARD MINCHIN JR, R.; O'BRIEN, W. J. **Management of construction firm performance using benchmarking**. Journal of management in engineering, 2007.
- ERCAN, T.; KOKSAL, A. **Competitive Strategic Performance Benchmarking (CSPB) model for international construction companies**. KSCE Journal of Civil Engineering, 2016.
- HEINECK, L. F. M.; PEREIRA, P. E.; LEITE, M. O.; BARROS NETO, J. D. P.; PINHO, I. B. **Transparency in building construction: a case study**. Annual Conference on Lean Construction, 2002.

KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews**. Technical Report TR/SE-401, Keele University and NICTA, 2004.

KITCHENHAM, B.; MENDES, E.; TRAVASSOS, G. H. **A systematic review of cross-vs. within-company cost estimation studies**. In 10th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE), 2006.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Salford: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.

LANTELME, E.M.V. **Proposta de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

LEE, S. J.; GRAVES, A. **Benchmarking Production Processes In Civil Engineering**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering, 2000.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; HUBELE, N. F. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MORADI, S., ANSARI, R.; TAHERKHANI, R. **A Systematic Analysis of Construction Performance Management: Key Performance Indicators from 2000 to 2020**. Iran J Sci Technol Trans Civ Eng, 2022.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. **A indústria da construção na era da informação**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 69-81, jan./mar. 2003.

NASIR, H.; HAAS, C.; RANKIN, J.; FAYEK, A.; FORGUES, D.; RUWANPURA, J. **Development and implementation of a benchmarking and metrics program for construction performance and productivity improvement**. Canadian Journal of Civil Engineering, 2012.

NBR ISO 9000:2015. **Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

NETO, P.; MACHADO, I.; MCGREGOR, J.; ALMEIDA, E.; MEIRA, S. **A systematic mapping study of software product lines testing**. Information and Software Technology, 2011.

PARK, H. S.; THOMAS, S. R.; TUCKER, R. L. **Benchmarking of construction productivity**. Journal of construction engineering and management, 2005.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT (PBQP-H). Ministério das Cidades, Brasília. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp->

[content/uploads/2019/03/Programa-Brasileiro-de-Qualidade-e-Produtividade-do-Habitat.pdf](#). Acesso em: 22 de março de 2023.

RADUJKOVIC, M.; VUKOMANOVIĆ, M.; BURCAR DUNOVIC, I. **Application of Key Performance Indicators in South-Eastern European construction**. Journal of Civil Engineering and Management, 2010.

SCARDOELLI, L. S. **Iniciativas de melhorias voltadas à qualidade e à produtividade desenvolvidas por empresas de construção de edificações**. 1995. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

SILVA, C.R.G. **Implementação de um Sistema de Indicadores de Desempenho para Benchmarking no Subsetor da Construção Civil em Maceió**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, UFAL, Maceió, 2017.

SILVA, N. T.; BRANDSTETTER, M. C. G. O.; DIAS, L. J. F. **Análise dos fatores de desvios de custos em orçamentos de um empreendimento imobiliário**. ENEGEP - XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Joinville, 2017.

SOUZA, U. E. L. **Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 8, n. 1, 2000.

Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos de Obras - TCPO. 15. ed. São Paulo: PINI, 2017.

WEBER, A. O. S.; LIMA, B. S.; SILVA, N. E. G.; SANTOS, I. A.; WEBER, I.; PHILIPPSEN JR., L. **Indicadores de Desempenho para Benchmarking em Empresas Construtoras na Cidade de Maceió – AL**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, XII., Maceió, Alagoas, 2021.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.

ZHANG, D.; NASIR, H.; HAAS, C. T. **Development of an internal benchmarking and metrics model for industrial construction enterprises for productivity improvement**. Canadian Journal of Civil Engineering, 2017.

APÊNDICE A – PROTOCOLO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA

Foram selecionados trinta e cinco artigos (70% da amostra) classificados como de alta aderência ao tema objeto da pesquisa. No entanto, a primeira etapa de leitura transversal, retornou uma quantidade consideravelmente alta de artigos, o que dificultaria a obtenção de informações precisas sobre o tema, dentro do prazo da pesquisa. Por isso, foi realizada uma nova etapa, que consistia na leitura dos resumos dos trinta e cinco artigos. Por fim, foram validados treze artigos finais (26% da amostra inicial), considerados de alta aderência ao tema da pesquisa, tendo como foco principal a discussão sobre indicadores de produtividade e *benchmarking* no setor da construção civil.

Estes artigos selecionados são apresentados no Quadro 1 do referencial teórico, ordenados cronologicamente em relação ao ano de publicação. Dentre os artigos de maior aderência ao tema da pesquisa, as revistas científicas *Journal of Construction Engineering and Management-Asce* e *Journal of Management in Engineering* apresentaram o maior número de artigos publicados, evidenciando ser uma fonte relevante na discussão sobre indicadores de produtividade e *benchmarking* no setor da construção civil.

Planejamento para revisão sistemática

Nesta etapa foram estabelecidos os objetivos fundamentais do MS que subsidiaram esta pesquisa, são eles:

- (i) recolher estudos acadêmicos que abordam o uso de indicadores de produtividade aliados à prática do *benchmarking* na construção civil;
- (ii) estabelecer o recorte dos artigos que serão analisados sob o enfoque de uma revisão bibliográfica;
- (iii) realizar a identificação das principais revistas e periódicos da área, dos autores referência no campo de pesquisa e da evolução quantitativa das publicações relacionadas ao tema ao longo dos anos.

A partir da determinação dos objetivos foi possível formular a questão da pesquisa deste (MS): De que forma a coleta e análise de indicadores de produtividade aliadas à prática do *benchmarking* na construção civil auxiliam no desempenho das empresas?

Estratégia de busca para seleção de artigos

Durante as reuniões e assessorias com a professora orientadora e um professor membro da banca, a estratégia de busca e avaliação de artigos para o levantamento foi aprimorada e ajustada. Essas discussões foram embasadas em trocas de experiências entre os professores e a aluna, além da análise prévia dos dois trabalhos clássicos reconhecidamente relevantes sobre o tema.

- Critérios para seleção das fontes e métodos de pesquisa:

O mapeamento sistemático foi realizado por meio da ferramenta de indexação de revistas científicas *Web of Science*TM. Esta ferramenta foi utilizada por ser uma das principais bases de artigos científicos. Além disso, alunos da Universidade Federal de Alagoas possuem acesso à *Web of Science*TM por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Ministério da Educação – Capes/MEC. A coleta e análise dos dados foram realizadas entre fevereiro e março de 2023.

- Palavras-chave e *strings* de busca:

A leitura prévia dos dois trabalhos clássicos selecionados inicialmente para estudo do tema foi realizada como parte do processo de MS, como indicado no protocolo de Kitchenham (2004) e Kitchenham, *et al.* (2007). Esta leitura foi realizada com o objetivo de identificar as palavras-chaves que pudessem guiar a *string* de busca. Com as palavras-chaves selecionadas procedeu-se às suas análises por meio da ferramenta *Web of Science*TM, para determinação de uma *string* de busca – ST satisfatória.

Para definir uma *string* de busca satisfatória é necessário refiná-la, dessa forma evita-se o retorno de muitos trabalhos que estejam distantes da temática principal da pesquisa, ou que tenham abordagens muito genéricas. Sendo assim, o objetivo ao montar uma *string* não é retornar o maior número possível de trabalhos e sim, retornar trabalhos que tenham total adesão ao tema pesquisado, selecionando a partir do banco de dados da ferramenta, publicações alinhadas à pesquisa.

A formulação da *string* é um processo muito importante, por isso, é recomendado dedicar tempo de qualidade na definição da *string*, realizando testes de busca com formulações diferentes, antes de exportar os artigos, para visualizar previamente o quantitativo e se os trabalhos que retornam são adequados. Para este trabalho, foram testadas dez formulações, sendo a décima, a *string* selecionada para o MS.

A *string* selecionada foi criada considerando três grupos de termos, relacionados a construção civil, *benchmarking* e indicadores (ambos em um mesmo grupo) e produtividade. O Quadro 9 apresenta a formulação da ST e sua função para a pesquisa.

Quadro 10 – ST utilizada no processo de MS

ST	Palavras-chaves	Função
1	“ <i>construction</i> ” OR “ <i>civil engineering</i> ” OR “AEC”	Definir que somente pesquisas com foco em construção civil fossem consideradas.
2	“ <i>bench*</i> ” OR “ <i>indicator*</i> ”	Definir que somente pesquisas com foco <i>benchmarking</i> ou indicadores fossem consideradas.
3	“ <i>productivity</i> ” OR “ <i>production</i> ” OR “ <i>performance</i> ”	Definir que somente pesquisas com foco produtividade e desempenho fossem consideradas.

Fonte: Autora (2023)

- Listagem das fontes selecionadas:

Os dados dos artigos obtidos durante a realização do MS foram exportados da base *Thomson Reuters Web of Science*TM para o Microsoft Excel, permitindo a leitura dos títulos e resumos dos artigos, bem como a identificação dos autores. A partir desses dados, foram realizadas análises quantitativas e qualitativas utilizando as ferramentas disponíveis no Microsoft Excel, visando atender aos objetivos da pesquisa. Foi estabelecido como critério de restrição selecionar apenas trabalhos nas Categorias da *Web Of Science, Engineering Civil e Construction Building Technology*.

Condução e seleção dos estudos

Esta etapa consistiu basicamente na definição dos critérios de seleção. Esses critérios de seleção são definidos pelo pesquisador em conjunto com o orientador, com o objetivo reduzir o espaço amostral do estudo, de forma que apenas os trabalhos com maior aderência ao tema sejam selecionados. A própria *Web of Science*TM já possui alguns critérios de seleção que auxiliam no processo, os quais podem variar entre informações sobre ano de publicação, revistas científicas e campo de estudo.

A filtragem por ano de publicação, permite ao pesquisador selecionar desde as primeiras publicações realizadas sobre determinado tema, a até mesmo, selecionar apenas publicações

mais recentes para inserir no trabalho referências mais atuais e compatíveis com o cenário atual de determinada área. A seleção por maior número de publicações, ou de apenas artigos publicados nas principais revistas de referência na área, garantem que o pesquisador utilize referência de maior relevância sobre o tema.

O resultado obtido após a *string* de busca foi de cinquenta artigos com potencial relevância para este trabalho. Após a leitura transversal dos títulos, foram validados trinta e cinco artigos com aderência relativamente alta. E por fim, foi realizada a leitura do resumo desses trinta e cinco artigos, resultando em treze artigos validados, os quais foram considerados muito aderentes ao tema principal, coleta e análise de indicadores de produtividade aliadas à prática do *benchmarking* na construção civil.

APÊNDICE B – ARTIGOS EXTRAÍDOS DA *WEB OF SCIENCE*™

O Quadro 10 apresenta os cinquenta artigos extraídos da ferramenta *Web of Science*™, em ordem decrescente de publicação. São apresentados os artigos a partir dos autores, o título, a revista e o ano de publicação.

Quadro 11 – Artigos extraídos da *Web of Science*™

Autor	Título	Revista	Ano
Aboseif, E; Hanna, AS	Benchmarking of construction projects performance for comparative assessment and performance improvement: a statistical quantitative approach	ENGINEERING CONSTRUCTION AND ARCHITECTURAL MANAGEMENT	2023
Moradi, S; Ansari, R; Taherkhani, R	A Systematic Analysis of Construction Performance Management: Key Performance Indicators from 2000 to 2020	IRANIAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY-TRANSACTIONS OF CIVIL ENGINEERING	2022
Cleary, JP; Lamanna, AJ	Correlation of Construction Performance Indicators and Project Success in a Portfolio of Building Projects	BUILDINGS	2022
Okudan, O; Budayan, C; Arayici, Y	Identification and Prioritization of Key Performance Indicators for the Construction Small and Medium Enterprises	TEKNIK DERGI	2022
Jayasinghe, KJAWL; Perera, BAKS; Senanayake, GPDP	Key performance indicators of aggregate base course waste management during the construction phase of a road project from the contractor's perspective	INTERNATIONAL JOURNAL OF PAVEMENT ENGINEERING	2021
Assaad, R; El-adaway, IH	Impact of Dynamic Workforce and Workplace Variables on the Productivity of the Construction Industry: New Gross Construction Productivity Indicator	JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING	2021
Shaikh, AY; Osei-Kyei, R; Hardie, M	A critical analysis of safety performance indicators in construction	INTERNATIONAL JOURNAL OF BUILDING PATHOLOGY AND ADAPTATION	2021
Danel, T; Lafhaj, Z;	Proposal for Tower Crane	BUILDINGS	2021

Puppala, A; Lienard, S; Richard, P	Productivity Indicators Based on Data Analysis in the Era of Construction 4.0		
He, QH; Wang, T; Chan, APC; Xu, JY	Developing a List of Key Performance Indicators for Benchmarking the Success of Construction Megaprojects	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT	2021
Baic, IR; Koziol, W; Miros, A	Dependence of extraction and production of construction aggregates on selected indicators of economic development in Poland	ARCHIVES OF CIVIL ENGINEERING	2021
Hosseini, A; Faheem, A; Titi, H; Schwandt, S	Evaluation of the long-term performance of flexible pavements with respect to production and construction quality control indicators	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	2020
Tripathi, KK; Jha, KN; Jain, AK	Determining Criticality of Performance Indicators for a Construction Company	PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT (ICSBE 2018)	2020
Mellado, F; Lou, ECW; Becerra, CLC	Synthesising performance in the construction industry An analysis of performance indicators to promote project improvement	ENGINEERING CONSTRUCTION AND ARCHITECTURAL MANAGEMENT	2020
Prasetio, RH; Arifuddin, R; Maricar, F	Performance evaluation indicators for implementing occupational safety and health management policy in small qualified construction services business entities	3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING (ICCEE 2019)	2020
Al Jassmi, H; Ahmed, S; Philip, B; Al Mughairbi, F; Al Ahmad, M	E-happiness physiological indicators of construction workers' productivity: A machine learning approach	JOURNAL OF ASIAN ARCHITECTURE AND BUILDING ENGINEERING	2019
Vankova, L; Kocourkova, G; Krejza, Z	Construction Production as a Key Indicator of the Territorial Development	4TH WORLD MULTIDISCIPLINARY CIVIL ENGINEERING-ARCHITECTURE-URBAN PLANNING SYMPOSIUM - WMCAUS	2019
Seo, W; Kang, Y	Performance Indicators for the Claim Management Process of Construction Projects	COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING 2019: VISUALIZATION, INFORMATION MODELING, AND SIMULATION	2019

Lafhaj, Z; Dakhli, Z	Performance Indicators of Printed Construction Materials: a Durability-Based Approach	BUILDINGS	2019
Isik, Z; Budayan, C; Aladag, H; Demirdogen, G; Yilmaz, T; Ardit, D	Key Performance Indicators of Vocational Education and Training in the Construction Industry	TEKNIK DERGI	2019
Habibi, M; Kermanshachi, S; Rouhanizadeh, B	Identifying and Measuring Engineering, Procurement, and Construction (EPC) Key Performance Indicators and Management Strategies	INFRASTRUCTURES	2019
Antunes, R; Gonzalez, VA; Walsh, K; Rojas, O; O'Sullivan, M; Odeh, I	Benchmarking Project-Driven Production in Construction Using Productivity Function: Capacity and Cycle Time	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT	2018
Habibi, M; Kermanshachi, S; Safapour, E	Engineering, Procurement, and Construction Cost and Schedule Performance Leading Indicators: State-of-the-Art Review	CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2018: CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT	2018
Zhang, D; Nasir, H; Haas, CT	Development of an internal benchmarking and metrics model for industrial construction enterprises for productivity improvement	CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	2017
Forcada, N; Serrat, C; Rodriguez, S; Bortolini, R	Communication Key Performance Indicators for Selecting Construction Project Bidders	JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING	2017
Beliakov, S; Boriskina, Y; Gnevanov, M	Analysis of performance indicators of investment and construction sector of the Russian Federation in the conditions of economic crisis	INTERNATIONAL SCIENCE CONFERENCE SPBWOSCE-2016 - SMART CITY	2017
Ercan, T; Koksall, A	Competitive Strategic Performance Benchmarking (CSPB) Model for International Construction Companies	KSCE JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	2016
Orgut, RE; Batouli, M; Zhu, J; Mostafavi, A; Jaselskis, EJ	Metrics That Matter: Evaluation of Metrics and Indicators for Project Progress Measurement, Performance Assessment, and Performance Forecasting during Construction	CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2016: OLD AND NEW CONSTRUCTION TECHNOLOGIES CONVERGE IN HISTORIC SAN JUAN	2016
Lee, P; Wang, MC;	An analysis of problems with	5TH CREATIVE	2016

Chan, EHW	current indicators for evaluating carbon performance in the construction industry	CONSTRUCTION CONFERENCE (CCC 2016)	
Miao, CM; Shiau, YC; Liu, CC; Chang, JK	The Establishment of the Sustainability Performance Indicators for Wetland Ecological Project: Using Construction Inspection Phase as Example	PROCEEDINGS OF THE 2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS (ICAROB 2016)	2016
Sibiya, M; Aigbavboa, C; Thwala, W	Construction Projects' Key Performance Indicators: A Case of the South African Construction Industry	ICCREM 2015: ENVIRONMENT AND THE SUSTAINABLE BUILDING	2015
Zimmermann, J; Eber, W	Mathematical background of key performance indicators for organizational structures in construction and real estate management	CREATIVE CONSTRUCTION CONFERENCE 2014	2014
Nasir, H; Haas, CT; Rankin, JH; Fayek, AR; Forgues, D; Ruwanpura, J	Development and implementation of a benchmarking and metrics program for construction performance and productivity improvement	CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	2012
Nourbakhsh, M; Mydin, SH; Zin, RM; Zolfagharian, S; Irizarry, J; Zahidi, M	Relative Importance of Key Performance Indicators of Construction Projects towards Buildability at Design Stage	TRENDS IN CIVIL ENGINEERING, PTS 1-4	2012
Molenaar, KR; Navarro, D	Key Performance Indicators in Highway Design and Construction	TRANSPORTATION RESEARCH RECORD	2011
Lin, G; Shen, GQP; Sun, M; Kelly, J	Identification of Key Performance Indicators for Measuring the Performance of Value Management Studies in Construction	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE	2011
Kale, S; Karaman, EA	A fuzzy logic model for benchmarking the knowledge management performance of construction firms	CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	2011
Humaidi, N; Said, NA	The Influence of Project Life Cycle and Key Performance Indicators in Project Management Performance: Comparison between ICT and Construction Project	CONSTRUCTION AND PROJECT MANAGEMENT, ICCPM 2011	2011
Horta, IM; Camanho, AS; Da Costa, JM	Performance Assessment of Construction Companies Integrating Key Performance Indicators and Data	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE	2010

	Envelopment Analysis		
Radujkovic, M; Vukomanovic, M; Dunovic, IB	APPLICATION OF KEY PERFORMANCE INDICATORS IN SOUTH-EASTERN EUROPEAN CONSTRUCTION	JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT	2010
Yeung, JFY; Chan, APC; Chan, DWM	A computerized model for measuring and benchmarking the partnering performance of construction projects	AUTOMATION IN CONSTRUCTION	2009
Skibniewski, MJ; Ghosh, S	Determination of Key Performance Indicators with Enterprise Resource Planning Systems in Engineering Construction Firms	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT	2009
Sudarto, R; Veronika, A; Riantini, LS; Sulhaemi, T	Determinants of construction company's success performance indicators in Indonesia	INNOVATIONS IN STRUCTURAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION, VOLS 1 AND 2	2008
El-Mashaleh, MS; Minchin, RE; O'Brien, WJ	Management of construction firm performance using benchmarking	JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING	2007
Ugwu, OO; Haupt, TC	Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability - a South African construction industry perspective	BUILDING AND ENVIRONMENT	2007
Tam, VWY; Tam, CM; Zeng, SX; Chan, KK	Environmental performance measurement indicators in construction	BUILDING AND ENVIRONMENT	2006
Park, HS; Thomas, SR; Tucker, RL	Benchmarking of construction productivity	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT	2005
Chan, APC; Chan, DWM	Developing a benchmark model for project construction time performance in Hong Kong	BUILDING AND ENVIRONMENT	2004
Akintoye, A; Chinyio, E	Construction industry benchmark of key performance indicators	CONSTRUCTION INNOVATION AND GLOBAL COMPETITIVENESS, VOLS 1 AND 2: THE ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION	2003
Cox, RF; Issa, RRA; Ahrens, D	Management's perception of key performance indicators for construction	JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND	2003

		MANAGEMENT-ASCE	
Lee, SJ; Graves, AP	Benchmarking production processes in civil engineering	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-CIVIL ENGINEERING	2000

Fonte: Autora (2023)