



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

João Paulo Maciel de Abreu

**Desenvolvimento de um sistema de indicadores de construtibilidade para
empreendimentos residenciais multifamiliares de padrão popular**

FLORIANÓPOLIS

2020

João Paulo Maciel de Abreu

Desenvolvimento de um sistema de indicadores de construtibilidade para empreendimentos residenciais multifamiliares de padrão popular

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial na obtenção de Título de Mestre em Engenharia Civil.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Fernanda Fernandes Marchiori.

FLORIANÓPOLIS

2020

Ficha de Identificação da obra elaborada pelo autor por meio do Programa de
Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Abreu, João Paulo Maciel de

Desenvolvimento de um sistema de indicadores de construtibilidade para empreendimentos residenciais multifamiliares de padrão popular / João Paulo Maciel de Abreu; orientadora, Fernanda Fernandes Marchiori, 2020.

200 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Construtibilidade. 3. Engenharia Simultânea. 4. Indicadores. 5. Obras Residenciais Multifamiliares de Padrão Popular. I. Fernandes Marchiori, Fernanda. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

João Paulo Maciel de Abreu

Desenvolvimento de um sistema de indicadores de construtibilidade para empreendimentos residenciais multifamiliares de padrão popular

A presente dissertação de mestrado foi avaliada e aprovada por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.^a Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter, Dr.^a (videoconferência)
Universidade Federal de Goiás

Prof. Ubiraci Espinelli Lemes de Souza, Dr. (videoconferência)
Universidade de São Paulo

Prof.^a Cristine do Nascimento Mutti, PhD. (videoconferência)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Ana Paula Melo, Dr.^a. (videoconferência)
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
(PPGEC-UFSC)

Prof.^a Dr.^a Fernanda Fernandes Marchiori
Orientadora

Florianópolis, 26 de agosto de 2020.

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais, familiares, orientadora e amigos, em especial Mayara Pegoraro, Eduardo Mendes, Mateus Rosa e todo o pessoal do Gestcon, que estiveram ao meu lado durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao Patrão Velho das Alturas, que abriu as portas de seu imenso rancho e nele me deixou morar. Aos meus queridos pais e familiares, que contribuíram em minha formação, seja como estudante, seja como ser humano. Seria impossível eu crescer em conhecimento sem o carinho de minha mãe e sem a força dada por meu pai. Em memória, ao meu avô Protásio Borges de Abreu.

Aos meus amigos Eduardo José Mendes e Mayara Paula Pegoraro. Apesar de seguirem outros caminhos profissionais e de estudo, continuaram compartilhando experiências, boas conversas e momentos felizes, em uma amizade que não terminou com o final da graduação.

Aos meus amigos de Vacaria, em especial Mateus Rosa, que receberá meu apoio no que puder para crescer em sua profissão. Também agradeço à Cristiane Rossoni, a quem espero que toda a dedicação na área do Direito frutifique e dê origem a mais livros, que estarão na estante e no cotidiano dos melhores advogados.

Ao amigo Jeferson Abreu, ex-colega de trabalho e amigo. Apesar de colorado, é uma grande pessoa! Às amigas Maria Luiza Fernandez e Maria Eduarda Bankhardt, pela parceria ao longo de sua transição para a graduação de Engenharia Civil e em disciplina da Pós-Graduação, respectivamente.

Aos amigos e companheiros de jornada no Grupo Gestão da Construção, aprendizado puro de seres humanos únicos e valorosos. Camila Isaton e Jamil Salim nos brindam com discussões memoráveis! Cláudia Gama com sua alegria e o autêntico sotaque catarinense. Leonardo Corrêa com suas dicas para bem começar. Humberto Júnior pelas conversas breves, mas importantes e Leiliane Santana, com sua atmosfera transcendental e paz em viver. Também gostaria de agradecer ao Gabriel Cardoso, membro que entrou com o desejo de pesquisar em nosso grupo e fez parte de importantes estudos sobre *lean*, além de me ensinar um pouco mais sobre capital e valor subjetivo.

Também agradeço ao Engenheiro Alexandre David Felisberto. Mesmo já tendo concluído seu vínculo com a UFSC, colaborou prontamente com minha pesquisa quando solicitado.

À professora orientadora Fernanda Fernandes Marchiori, cujo carinho e dedicação postos naquilo que faz e na sua forma de ser produz valorosos frutos por onde passa. Seria impossível a busca por uma boa pesquisa sem sua valorosa orientação,

no âmbito científico, e amizade, no âmbito pessoal. Aos Professores Ricardo Juan José Oviedo Haito, Maria do Carmo Duarte Freitas e Luiz Fernando Mälmann Heineck, que participaram com suas ideias e seu conhecimento, fornecendo valiosas dicas que se uniram às orientações de Prof.^a Fernanda na construção do trabalho.

Aos colegas profissionais de Engenharia Civil que responderam o questionário elaborado para essa pesquisa. Também cabe especial agradecimento aos profissionais ACF, ELS, LC, e AMB, participantes da etapa de validação do sistema de avaliação por indicadores. Vocês fizeram com que se traduzisse o conceito de construtibilidade quando contribuíram.

Às empresas que gentilmente disponibilizaram as informações de seus projetos. Eles foram importantes como ferramenta de teste e ajuste para a construção do modelo de avaliação proposto por esta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio no desenvolvimento desse relatório de pesquisa. Por fim, aos membros da banca examinadora e a todos aqueles que contribuíram com minha formação pessoal e que aqui não estejam citados, pois vocês também fazem parte de todas as minhas conquistas, dado que nada se constrói sozinho.

“Nem ao menos se dão conta / Que o importante é o saber”

(Arabi Rodrigues; Luiz Carlos Lanfredi; Edison Campagna)

RESUMO

A construtibilidade é o grau de facilidade de execução pautado no conhecimento existente nas fases construtivas, utilizado de forma antecipada e podendo agregar informações de etapas posteriores no ciclo-de-vida da edificação (uso, manutenção, reforma e demolição). Obras brasileiras e no exterior apresentam diversos problemas de construtibilidade relacionados a aspectos de concepção, projeto e execução. Em contraponto, várias ferramentas existem com o objetivo de melhoria da construtibilidade, dentre as quais os sistemas de indicadores. Nesta pesquisa, propôs-se o desenvolvimento de um sistema de indicadores de construtibilidade voltado a empreendimentos residenciais multifamiliares de construção civil, padrão popular. Para tanto, a partir de pesquisas levantadas na revisão bibliográfica integrativa, com seleção de mais de trezentas referências de um total de aproximadamente duas mil publicações, montou-se uma estrutura com um conjunto de indicadores propostos, verificando-se escalas (em geral crescentes e de zero a um) e métodos de medição previamente existentes e que precisariam ser desenvolvidos. Após, definiu-se pesos para os indicadores propostos por meio de um *survey* virtual, respondido por cento e cinquenta e seis profissionais, de todo o país. Após a consolidação dos resultados do *survey* e ajustes no sistema, este foi avaliado a partir de três projetos de edificações, cada um em sistema construtivo distinto: estrutura de concreto armado com vedação em alvenaria em blocos cerâmicos, alvenaria estrutural em bloco de concreto e paredes de concreto armado, obtendo-se a melhor indicador geral de construtibilidade no empreendimento de alvenaria estrutural. Por fim, ocorreu a etapa de validação com quatro especialistas experientes nas tipologias construtivas avaliadas, verificando-se todos os vinte e três indicadores, pesos e notas finais, o que levou a novos ajustes e à melhoria do sistema de indicadores, tornando-o mais próximo das reais condições de construtibilidade de cada tipologia e permitindo que seja utilizado como ferramenta para melhoria da construtibilidade de obras brasileiras do padrão popular (PP-B), para que foi desenvolvido.

Palavras-chave: Construtibilidade. Indicadores. Edificações Residenciais Multifamiliares.

ABSTRACT

Constructability is the ease of construction degree based in the knowledge about construction stages, used anticipately and adding information about next stages of life-cycle (use, maintenance, renewal and demolition). Brazilian or foreign building works have a lot of constructability problems associated to creation, design and construction characteristics. In counterpoint, many tools exist with the aim of improving constructability, such as indicators systems. The main research aim is the development of a constructability indicators system, destined to residential condominium projects with popular pattern. In order to achieve this aim, after the integrative review with more than three hundred references selected from approximated two thousand, a proposed indicators group was structured, verifying scales (usually between zero and one) and measure methods that exist or need to be developed. In the next step, the weights for the indicators were defined using an online survey, answered by one hundred fifty-six Brazilian professionals, of the whole country. Further, with the survey results and adjustments, this system was evaluated using construction data from three residential condominiums, one in cast in-situ system (beams, columns and slabs), other in precision blockwall and another in cast in-situ reinforced concrete walls, with the best project constructability indicator in precision blockwall project. Finally, there was validation step, with four experts that worked with all construction typologies evaluated, validating all twenty-three indicators, weights and projects constructability indicator. This validation led to adjusts and indicators system improvement, approaching it to each typology constructability conditions. The system developed may be adequate to be used as a tool of constructability improvement in residential condominium projects with popular pattern.

Keywords: Constructability. Buildability. Indicators. Residential Condominium Projects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da dissertação	38
Figura 2 - Habilidade em influência de custos ao longo do empreendimento de construção.....	41
Figura 3 - Evolução do conhecimento sobre construtibilidade	48
Figura 4 - Abordagens sobre construtibilidade (revisão integrativa).....	50
Figura 5 - Menções sobre construtibilidade verificadas na revisão integrativa.....	51
Figura 6 – Etapas do Método de Pesquisa	66
Figura 7 - Amostragem.....	71
Figura 8 - Distribuição geográfica dos respondentes	73
Figura 9 - Tempo de atuação	74
Figura 10 - Área construída acompanhada pelos respondentes	74
Figura 11 - Locais de trabalho.....	75
Figura 12 – Sequência de definição dos indicadores do SICCC	98
Figura 13 – Empreendimento-Exemplo.....	99
Figura 14 – Ponderação de notas para o Bloco 1 do Empreendimento-Exemplo...	100
Figura 15 – Ponderação de notas para o Salão de Festas do Empreendimento-Exemplo.....	101
Figura 16 – Ponderação de notas para todo o Empreendimento-Exemplo.....	102
Figura 17 - Definição do indicador de modelagem de projetos	103
Figura 18 - Definição do indicador de uso de plataforma de nuvem	104
Figura 19 - Definição do indicador de relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo	106
Figura 20 - Definição do indicador de área de construída dos pavimentos-tipo em relação à área total construída	107
Figura 21 - Definição do indicador de coordenação de projetos	108
Figura 22 - Definição do indicador de presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias.....	109
Figura 23 - Definição do indicador de presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais ou componentes a empregar	110
Figura 24 - Definição do indicador de qualidade na representação	111
Figura 25 - Definição do Índice de economia de mão de obra em vedações verticais	113

Figura 26 - Definição do indicador de meio de transporte vertical	114
Figura 27 - Definição do fator k para estruturas de concreto armado moldadas <i>in loco</i>	116
Figura 28 - Definição do indicador de uso de mão de obra no sistema estrutural ..	118
Figura 29 - Definição do índice de repetição de esquadrias	119
Figura 30 - Definição do índice de repetição de seções de pilares.....	120
Figura 31 - Definição do índice de repetição de espessuras de lajes.....	121
Figura 32 - Definição do indicador de banco de dados sobre construtibilidade	121
Figura 33 - Definição do indicador de distância dos fornecedores e custo de transporte	122
Figura 34 - Definição do indicador de projeto de <i>layout</i> de canteiro	123
Figura 35 - Definição do indicador de projetos para produção	124
Figura 36 - Definição do indicador de acesso para caminhões	125
Figura 37 - Definição do indicador de espaço para estoques.....	126
Figura 38 - Definição do indicador de canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs	127
Figura 39 - Definição do indicador de reuniões mensais de acompanhamento de obra	127
Figura 40 - Definição do indicador de padronização de método executivo.....	128
Figura 41 - Aplicação de critérios de exclusão	159
Figura 42 - Autores que fazem menção à construtibilidade	160
Figura 43 - Principais meios de publicação nacionais e internacionais	162
Figura 44 - Planilha Eletrônica do Sistema de Indicadores de Construtibilidade Preliminar.....	163
Figura 45 - Slide 01 – Apresentação da validação	173
Figura 46 - Slide 02 – Definição e critérios para conceituar construtibilidade.....	173
Figura 47 - Slide 03 – Introdução aos sistemas de indicadores de construtibilidade	174
Figura 48 - Slide 04 – Formulação de um sistema de indicadores e apresentação simplificada da etapa de pesquisa.....	174
Figura 49 - Slide 05 – Primeira pergunta aos especialistas	175
Figura 50 - Slide 06 – Indicadores e método de cálculo	175
Figura 51 - Slide 07 – Indicadores e método de cálculo	176
Figura 52 - Slide 08 – Indicadores e método de cálculo	176

Figura 53 - Slide 09 – Indicadores e método de cálculo.....	177
Figura 54 - Slide 10 – Indicadores e método de cálculo.....	177
Figura 55 - Slide 11 – Indicadores e método de cálculo.....	178
Figura 56 - Slide 12 – Indicadores e método de cálculo.....	178
Figura 57 - Slide 13 – Indicadores e método de cálculo.....	179
Figura 58 - Slide 14 – Indicadores e método de cálculo.....	179
Figura 59 - Slide 15 – Indicadores e método de cálculo.....	180
Figura 60 - Slide 16 – Indicadores e método de cálculo.....	180
Figura 61 - Slide 17 – Indicadores e método de cálculo.....	181
Figura 62 - Slide 18 – Indicadores e método de cálculo.....	181
Figura 63 - Slide 19 – Segunda pergunta da validação.....	182
Figura 64 - Slide 20 – Pesos para cada indicador.....	182
Figura 65 - Slide 21 – Terceira pergunta.....	183
Figura 66 - Slide 22 – Projeto 01.....	183
Figura 67 - Slide 23 – Projeto 02.....	184
Figura 68 - Slide 24 – Projeto 03.....	184
Figura 69 - Slide 25 – Indicadores obtidos com o sistema preliminar.....	185
Figura 70 - Slide 26 – Sugestões finais.....	185
Figura 71 – Escala de construtibilidade.....	187
Figura 72 – Escala de construtibilidade.....	189
Figura 73 – Escala de construtibilidade.....	197

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de construtibilidade.....	40
Quadro 2 - Custos da estrutura de concreto de um edifício hipotético [US\$/m ²].....	43
Quadro 3 – Conceitos de construtibilidade (CC).....	44
Quadro 4 – Princípios de construtibilidade (CP).....	46
Quadro 5 – Classificações da pesquisa	67
Quadro 6 - Pesos para cada questão/indicador	76
Quadro 7 – Etapa de formulação – consolidação dos indicadores.....	77
Quadro 8 - Contribuições percentuais por serviços e elementos nas estruturas de concreto armado	79
Quadro 9 – Empreendimentos avaliados pelo sistema de indicadores	82
Quadro 10 - Indicadores de construtibilidade, considerando o sistema de indicadores preliminar.....	83
Quadro 11 – Protocolos verbais utilizados na validação do sistema preliminar	84
Quadro 12 – Perfil dos especialistas	86
Quadro 13 – Contribuições dos especialistas	86
Quadro 14 – Comentários e contribuições qualitativas discutidas.	91
Quadro 15 - Parcelas do fator k	117
Quadro 16 – Pesos e indicadores para cálculo dos indicadores parciais e indicador geral	130
Quadro 17 - Indicadores de construtibilidade.....	131
Quadro 18 - Processo de revisão integrativa	157
Quadro 19 - Bases de dados e repositórios - publicações selecionadas	161
Quadro 20 – Indicadores definidos para a versão preliminar	163
Quadro 21 – Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas	187
Quadro 22 – Parcela f_p (execução de formas de pilares).....	189
Quadro 23 – Parcela f_v (execução de formas de vigas)	190
Quadro 24 – Parcela f_l (execução de formas de lajes).....	191
Quadro 25 – Parcela f_e (execução de formas de escadas).....	192
Quadro 26 – Parcela a_{pv} (armação de pilares e vigas cortada e dobrada em canteiro)	193
Quadro 27 – Parcela a_l (armação de lajes cortada e dobrada em canteiro).....	193

Quadro 28 – Parcela a_e (armação de escadas cortada e dobrada em canteiro)	193
Quadro 29 – Parcela a_{pv} (armação de pilares e vigas pré-cortada e pré-dobrada)	194
Quadro 30 – Parcela a_l (armação de lajes pré-cortada e pré-dobrada)	194
Quadro 31 – Parcela a_e (armação de escadas pré-cortada e pré-dobrada)	194
Quadro 32 – Parcela c_p (concretagem de pilares)	195
Quadro 33 – Parcela c_{vle} (concretagem de vigas, lajes e escadas)	195
Quadro 34 – Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)	197

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3S – *Simplicity, Standardisation and Single integrated elements*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACF – Engenheiro(a) participante da validação da dissertação (I)

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção Civil

AMB – Engenheiro(a) participante da validação da dissertação (II)

ASCE – *American Society of Civil Engineers*

BAM – *Buildability Assessment Model*

BCA - *Building and Construction Authority* (Singapura)

BDAS – *Buildable Design Appraisal System*

BIM – *Building Information Modelling*

CAD – *Computer Aided Design* ou desenho assistido por computador

Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CC – Conceito(s) de Construtibilidade

CII – *Construction Industry Institute*

CIRIA - *Construction Industry Research and Information Association*

CP – Princípio(s) de Construtibilidade

CRAS – Centro de Referência em Assistência Social

CUB – Custo Unitário Básico

DB – *Design-Build*

DBB – *Design-Bid-Build*

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DOAJ – *Directory of Open Access Journals*

ELS – Engenheiro(a) participante da validação da dissertação (III)

ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

EPCs – Equipamentos de Proteção Coletiva

EPIs – Equipamentos de Proteção Individual

EUA – Estados Unidos da América

FURG – Universidade Federal de Rio Grande

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Indicador geral de construtibilidade

InfoHab – Centro de referência e informação em habitação

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPD – Indicador parcial de construtibilidade de *design* do produto

IPE – Indicador parcial de construtibilidade de execução

IPP – Indicador parcial de construtibilidade de planejamento da produção

LC – Engenheiro(a) participante da validação da dissertação (IV)

NR – Norma Regulamentadora – Escola Nacional de Inspeção do Trabalho

PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat

pdf – *Portable Format Document*, ou formato de documento portátil (extensão de arquivo de computador).

PP-B – Prédio Popular – Padrão Baixo

PR – Estado do Paraná

PROCON-SP - Programa de Proteção e Defesa do Consumidor – Estado de São Paulo

PrPCI – Projeto de Prevenção Contra Incêndio

QR Code – *Quick Response Code*

RDC – Regime Diferenciado de Contratações

RUP – Razão Unitária de Produção

SBQP – Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído

SIBRAGEC – Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção

SICC – Sistema de Indicadores de Construtibilidade para a Construção Civil

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

Sinduscon – Sindicato da Indústria da Construção Civil (regional)

TCPO – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos.

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

UFAC – Universidade Federal do Acre

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

UFBA – Universidade Federal da Bahia

UFC – Universidade Federal do Ceará

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UFF – Universidade Federal Fluminense

UFG – Universidade Federal de Goiás

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

UFLA – Universidade Federal de Lavras
UFMA – Universidade Federal do Maranhão
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso
UFMS – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto
UFPa – Universidade Federal do Pará
UFPB – Universidade Federal da Paraíba
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
UFPel – Universidade Federal de Pelotas
UFPI – Universidade Federal do Piauí
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRR – Universidade Federal de Roraima
UFS – Universidade Federal do Sergipe
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
UFT – Universidade Federal do Tocantins
UFU – Universidade Federal de Uberlândia
UFV – Universidade Federal de Viçosa
UK – Reino Unido
UnB – Universidade de Brasília
UNIFAP – Universidade Federal do Amapá
UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo
UNIR – Universidade Federal de Rondônia
USP – Universidade de São Paulo
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	31
1.1 JUSTIFICATIVA	31
1.2 OBJETIVOS	34
1.2.1 Objetivo Geral.....	34
1.2.2 Objetivos Específicos	34
1.3 DELIMITAÇÕES DESTA PESQUISA.....	35
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	37
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	39
2.1 CONSTRUTIBILIDADE	39
2.1.1 Princípios e conceitos de construtibilidade	44
2.1.2 Evolução histórica do tema.....	47
2.1.3 Abordagens sobre construtibilidade.....	50
2.1.4 Sistemas de indicadores de construtibilidade	52
2.2 A RELAÇÃO ENTRE PROJETO (ESCOPO DO PRODUTO), EXECUÇÃO E CONSTRUTIBILIDADE	60
2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	63
3 MÉTODO	65
3.1 CLASSIFICAÇÕES DESTA PESQUISA	67
3.2 REFERENCIAL TEÓRICO	67
3.3 LEVANTAMENTO DE INDICADORES (DEFINIÇÃO PRELIMINAR).....	68
3.4 <i>SURVEY</i>	69
3.4.1 Elaboração e questões	69
3.4.2 Revisão	70
3.4.3 Obtenção de respostas.....	70
3.5 FORMULAÇÃO E APLICAÇÃO	75

3.5.1	Definição de pesos para cada indicador	75
3.5.2	Consolidação de escalas e métodos de cálculo.....	77
3.5.3	Aplicação do sistema para empreendimentos concluídos.....	82
3.6	VALIDAÇÃO	84
3.6.1	<i>Thinking Aloud</i> e outros protocolos verbais.....	84
3.6.2	Aspectos avaliados	85
3.6.3	Perfil dos especialistas	85
3.7	AJUSTE DO SISTEMA.....	86
3.7.1	Contribuições e mudanças propostas.....	86
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
4.1	COMENTÁRIOS QUALITATIVOS REALIZADOS POR PROFISSIONAIS NO SURVEY E NOS PROTOCOLOS VERBAIS	91
4.2	SISTEMA DE INDICADORES DE CONSTRUTIBILIDADE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL (SICC)	96
4.3	INDICADORES DE <i>DESIGN</i> DO PRODUTO	103
4.3.1	Desenvolvimento dos projetos.....	103
4.3.2	Uso de plataforma de nuvem.....	104
4.3.3	Relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo	105
4.3.4	Área construída dos pavimentos-tipo em relação à área total construída	106
4.3.5	Coordenação de projetos	107
4.3.6	Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias	108
4.3.7	Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar.....	109
4.3.8	Qualidade na representação.....	110
4.3.9	Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas.....	112

4.3.10	Meio de transporte vertical.....	114
4.3.11	Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)	115
4.3.12	Índice de repetição de esquadrias.....	118
4.3.13	Índice de repetição de seções de pilares.....	119
4.3.14	Índice de repetição de espessuras de lajes.....	120
4.3.15	Banco de dados sobre construtibilidade.....	121
4.4	INDICADORES DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO.....	122
4.4.1	Distância dos fornecedores e custo de transporte.....	122
4.4.2	Projeto de <i>layout</i> de canteiro.....	123
4.4.3	Projetos para produção em CAD (essencial) ou como subproduto do BIM	123
4.4.4	Acesso para caminhões (área para um veículo estacionado no interior ou largura para corredor).....	125
4.4.5	Espaços para estoques.....	125
4.5	INDICADORES DE EXECUÇÃO.....	126
4.5.1	Canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs.....	126
4.5.2	Reuniões mensais de acompanhamento de obra.....	127
4.5.3	Padronização (método executivo), principalmente para elementos de baixa construtibilidade.....	128
4.6	INDICADOR GERAL DE CONSTRUTIBILIDADE.....	129
4.6.1	Método de cálculo.....	129
4.6.2	Empreendimentos concluídos avaliados pelos indicadores individuais, parciais e indicador geral de construtibilidade.....	131
4.7	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	132
5	CONCLUSÃO.....	135
6	REFERÊNCIAS.....	139

APÊNDICE A – REVISÃO BIBLIOMÉTRICA INTEGRATIVA SOBRE “CONSTRUTIBILIDADE”	157
CRITÉRIOS DE PESQUISA	158
PRINCIPAIS AUTORES	160
BASES DE DADOS E REPOSITÓRIOS.....	161
PRINCIPAIS MEIOS DE PUBLICAÇÃO NACIONAIS E INTERNACIONAIS.....	162
APÊNDICE B – SISTEMA DE INDICADORES DE CONSTRUTIBILIDADE PRELIMINAR	163
APÊNDICE C – SURVEY SOBRE CONSTRUTIBILIDADE APLICADO A PROFISSIONAIS COM EXPERIÊNCIA EM CONSTRUÇÃO CIVIL	167
SOBRE ESTE QUESTIONÁRIO	167
PARTE 1 - SOBRE SUA ATUAÇÃO PROFISSIONAL	168
PARTE 2 – VERSÃO 1 - QUESTÕES SOBRE CONSTRUTIBILIDADE	169
PARTE 2 – VERSÃO 2 - QUESTÕES SOBRE CONSTRUTIBILIDADE	171
APÊNDICE D – ROTEIRO DO THINKING ALOUD E DEMAIS PROTOCOLOS VERBAIS UTILIZADOS	173
APÊNDICE E – ÍNDICE DE ECONOMIA DE MÃO DE OBRA EM VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS	187
APÊNDICE F – PARCELAS DO FATOR K	189
APÊNDICE G – USO DE MÃO DE OBRA NO SISTEMA ESTRUTURAL	197
BASES DE FORMATAÇÃO	199

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão apresentados os aspectos gerais que dão origem à pesquisa, tais como sua justificativa, objetivos e delimitações. Por fim, apresenta-se a estrutura de todo o trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

A fim de ilustrar o conceito para construtibilidade, a *American Society of Civil Engineers* (ASCE, 1991) fornece um exemplo que envolve as pirâmides egípcias, patrimônio histórico mundial. Segundo uma lenda, Hamid era um dos diretores responsáveis pela execução da Grande Pirâmide. Ao verificar os blocos de rocha disponíveis, notou que suas características levavam a uma execução muito difícil: possuíam grandes dimensões, além de faces irregulares, o que causava insegurança em canteiro e baixa produtividade.

Reportou esta preocupação ao faraó, que autorizou as alterações em pedra nos blocos anteriormente fornecidos e novos padrões aos blocos futuros. Mais tarde, os resultados apontaram uma execução 13,5 % mais rápida e 23,8 % mais econômica. Infelizmente, as melhorias foram perdidas e as lições aprendidas não foram replicadas em novas edificações posteriores, retornando-se aos métodos até então tradicionais (ASCE, 1991). A pirâmide com blocos ajustados seria uma edificação de maior construtibilidade.

Construtibilidade é uma característica inerente a quaisquer construções, indicando seu grau de facilidade de execução. Um projeto com maior construtibilidade também envolve uso ótimo dos recursos disponíveis (o reaproveitamento de blocos no exemplo supracitado) e a consideração das operações construtivas na etapa de projeto (ASCE, 1991; SABBATINI, 1989).

Problemas de construtibilidade persistem com o passar dos anos, surgindo também em novos empreendimentos de construção. Muito após o exemplo lendário apresentado por ASCE (1991), o *Emmerson Report* (de 1962) já aponta a necessidade de trazer o conhecimento dos envolvidos nas etapas de construção para dentro da etapa de projeto, a fim de melhorar a construtibilidade pela redução de inconsis-

tências (elementos de uma disciplina de projeto ocupam o mesmo espaço ou interferem no funcionamento de outros) ou detalhes de difícil execução (como aspectos de geometria e dimensões, acabamentos, dentre outros) (LAM; WONG; CHAN, 2006; BELLAN; FABRICIO, 2010; KIFOKERIS; XENIDIS, 2017). Bachmann (2017), Almeida (2013), Hernandez (2017), e outros autores apontam problemas de construtibilidade em todos os empreendimentos de construção - principalmente nos públicos - onde não se permite ou se restringe o contato entre os atores envolvidos em projeto e os de execução, ou seja, perde-se a possibilidade de troca de conhecimento, sendo necessário avaliar outras possibilidades de melhoria.

Silva (2018) indica que a pesquisa científica em construtibilidade, no contexto nacional, ainda envolve muitos exemplos de aprimoramentos em aspectos pontuais de projeto (*design* de produto), sem buscar a interligação do conhecimento gerado em execução de forma completa e sistêmica. É necessário um processo contínuo de retroalimentação das informações que promovam a melhoria de projetos, pois as necessidades de prazo e qualidade levam à fragmentação do alcance de cada ator envolvido em projeto e/ou execução, mas o produto finalizado é único e deve ser coeso, funcional.

Outro problema de construtibilidade está na baixa padronização de produtos e de métodos construtivos (SAFFARO, 2007), dada a característica artesanal da execução de edificações. Em construções mais populares, a padronização de produtos dentro de um mesmo empreendimento oferece maior produtividade e construtibilidade. Para edificações de padrão construtivo mais elevado, a flexibilidade arquitetônica precisa ser adequadamente estudada para não causar problemas de construtibilidade, pois a personalização é requisito de mercado nessas edificações (BRANDÃO; HEINECK, 1998).

Diferentes ferramentas e abordagens são possíveis em busca de melhoria da construtibilidade. Em Singapura, por exemplo, uma política estatal consistiu em estabelecer sistemas de indicadores de construtibilidade anexos ao seu código de obras. Avaliando aspectos de geometria, simplificação, modularidade e outros, projetos são pontuados, devendo atingir valores mínimos (POH; CHEN, 1998; LAM *et al.*, 2007; SINGAPURA, 2017). Uma pontuação maior nesses sistemas de indicadores sugere uso mais eficiente de mão de obra, e, por conseguinte, maior produtividade e construtibilidade (JARKAS, 2010).

Poh e Chen (1998) apontavam, alguns anos antes da implementação do sistema de indicadores *Buildable Design Appraisal System* (BDAS) em Singapura, que esse sistema seria bastante útil para a melhoria da construtibilidade em obras no país. O mesmo raciocínio é estendido por tais autores para outros países, com um sistema similar ou possivelmente aprimorado. Lam e Wong (2008), em estudo após a implementação, confirmam os ganhos de construtibilidade apontados por Poh e Chen (1998).

Sistemas de indicadores como forma de medição de desempenho permitem estabelecer critérios objetivos como fatores de sucesso. Estes sistemas fornecem subsídios à gestão, permitem definir metas, motivar e tecer comparações (CÂNDIDO, 2015). Na construção de edificações residenciais, poderiam levar a avaliações de projetos e tomada de decisão de forma mais expedita, sendo outra maneira de alimentar o processo de projeto com o conhecimento construtivo.

Um sistema de indicadores de desempenho, seja destinado à medição da construtibilidade ou outras variáveis, pertence a um sistema de gestão e está alinhado aos objetivos da organização (governo, empresa construtora, dentre outros). Esses sistemas, segundo Costa (2003), surgiram após a década de 1980, alinhados a filosofias gerenciais como *just-in-time*, *total quality management*, produção enxuta e engenharia simultânea, com adaptações para o setor de construção civil nos anos 1990. Sistemas de indicadores dedicados especificamente à medição de construtibilidade foram desenvolvidos a partir dos anos 2000.

No Brasil, há poucos estudos com relação a sistemas de indicadores de construtibilidade, sendo o único exemplo, até então, onde houve o desenvolvimento de um sistema de avaliação, o trabalho de Narloch (2015). Nele, são relacionados aspectos geométricos dos projetos de edificações, em uma análise que se aproxima ao conceito internacional conhecido como *buildability* – ou construtibilidade com a etapa do empreendimento considerada como chave sendo a de definição do *design* do produto – em língua inglesa (JARKAS, 2010).

A definição com desenvolvimento estadunidense chamada *constructability*, por sua vez, envolve mais etapas do ciclo de vida do processo de construção no contexto de melhoria da construtibilidade (LAM; WONG; CHAN, 2006). Com o passar do tempo, algumas publicações internacionais citam casos em que *constructability* passa a integrar aspectos da edificação em uso (LAM *et al.*, 2007). Apesar da existência de pes-

quisas nacionais abordando sistemas de indicadores ligados à construção civil, observa-se uma lacuna de pesquisa em se tratando daqueles destinados a avaliar a construtibilidade em edificações, ou seja, um conjunto de indicadores que permita a avaliação de projetos de construção civil, considerando não só aspectos geométricos, como a execução do empreendimento de construção em si, alinhando-se ao conceito conhecido internacionalmente como *constructability*.

A presente dissertação, cujo referencial, método e resultados serão apresentados ao longo dos próximos capítulos, destinar-se-á a propor as características de um sistema de medição da construtibilidade com foco no setor de construção civil brasileiro, empreendimentos residenciais multifamiliares, e alinhado ao conceito *constructability*, agregando mais elementos de análise do que o exemplo nacional pré-existente e sistemas identificados na bibliografia internacional (explanados no capítulo de Fundamentação Teórica). De forma semelhante aos demais sistemas existentes, busca sintetizar o conhecimento existente em construção por meio de pesquisa bibliográfica e conhecimento tácito de profissionais com experiência em empreendimentos de construção civil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de indicadores de construtibilidade voltado à avaliação de empreendimentos residenciais multifamiliares de construção civil de padrão popular.

1.2.2 Objetivos Específicos

São propostos os seguintes objetivos específicos¹:

¹ A numeração nos objetivos busca facilitar sua menção futura, não havendo hierarquia ou ordem cronológica linear entre eles.

- i. Levantar características que favorecem a construção² de empreendimentos residenciais multifamiliares de construção civil de padrão popular, baseadas em experiências de profissionais atuantes no mercado.
- ii. Elencar aspectos em projetos de construção que favoreçam a construtibilidade em referencial teórico.
- iii. Explorar o processo de avaliação de construtibilidade existente na bibliografia nacional e internacional.
- iv. Identificar fatores que afetam a construtibilidade e seus respectivos pesos.
- v. Estabelecer indicadores para um sistema de indicadores de construtibilidade.
- vi. Buscar valores de referência (*benchmarks*) para tais indicadores.

1.3 DELIMITAÇÕES DESTA PESQUISA

Os sistemas de indicadores de construtibilidade levantados na bibliografia podem ter abordagem global, no empreendimento e seu entorno, como em Hong Kong e Singapura (LAM *et al.*, 2007) ou mais detalhada (analisando cada parte de um único sistema construtivo, como em Jarkas (2010)). O sistema de indicadores proposto por esta pesquisa possui abordagem **global**, exceto para o sistema estrutural, para o caso específico de estruturas de concreto armado moldadas *in loco*, cujas justificativas são expostas a seguir.

Avaliou-se abordagem detalhada em todos os indicadores, como por exemplo o detalhamento da construtibilidade de bitolas de armaduras para concreto armado, dentro da avaliação do sistema estrutural, com ideia semelhante ao trabalho realizado por Jarkas (2012). Pesou o fato de que uma escala com muito detalhe e em todos os indicadores pode esbarrar em outras características, como disposições normativas ou fatores construtivos, como se observa no trabalho de Salim Neto (2009). Outros aspectos relevantes para essa definição de escala foram o prazo disponível para desenvolvimento da pesquisa e a quantidade de indicadores no sistema, que poderia ser elevada se consideradas todas as características e suas variantes.

² Pensando no aspecto da construtibilidade, ou facilidade de execução com uso dos recursos físicos e conhecimento prévio disponíveis (ver **Capítulo 2**).

Entretanto, no caso específico das estruturas de concreto armado, existe grande variabilidade da produtividade dos serviços componentes em função dos elementos que compõem a estrutura e o método construtivo, sendo parte representativa do orçamento de uma obra (DANTAS, 2006; DAMIÃO, 2019). Desse modo, definiu-se a abordagem detalhada **apenas** nas estruturas de concreto armado. Nos demais sistemas prediais ou indicadores, ficam a cargo dos especialistas as análises em maior detalhe e, em pesquisas futuras, existe a possibilidade de expansão do detalhamento.

Buscou-se gerar um sistema com um mecanismo numérico de avaliação, para que seja expedita e de simples interpretação, para empreendimentos de execução de condomínios residenciais multifamiliares padrão popular. Esses empreendimentos se assemelham ao “Prédio Popular – Padrão Baixo” (PP-B), proposto pela norma ABNT NBR 12721:2006, que é referencial de cálculo do Custo Unitário Básico (CUB) (ABNT, 2007).

Não serão analisadas construção pesada e de obras-de-arte rodoviárias, como pontes, túneis ou similares e não serão avaliadas outras formas de melhoria da construtibilidade, como processos de análise internos às empresas ou órgãos governamentais, já abordados em outras pesquisas verificadas em revisão bibliográfica.

A avaliação gerada pelo sistema de indicadores foi produzida de modo a pontuar as características de maior construtibilidade, independentemente de condições específicas de um dado empreendimento. Tal condição é necessária para permitir comparações entre empreendimentos, seguindo os mesmos critérios, e pontuar menos condições de menor construtibilidade, mesmo que não seja possível melhoria (como formato em planta em função do formato de terreno, ou meio de transporte vertical, por exemplo). A utilização do sistema deve ocorrer em busca de otimização de características, objetivando-se maior avaliação possível de construtibilidade, não necessariamente a avaliação máxima.

Uma última delimitação a se citar está na abrangência do conhecimento em construção civil utilizado no conceito de construtibilidade. Conceitualmente, a atual definição de construtibilidade envolve o acréscimo de conhecimentos em manutenção, reforma, demolição e reaproveitamento de peças/partes. Entretanto, estabeleceu-se como delimitação do escopo de construtibilidade, para este trabalho, os conhecimentos até a etapa de execução de uma edificação, pois há dados suficientes e que considerem a realidade brasileira até essa etapa do ciclo-de-vida das edificações.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma (Figura 1):

Capítulo 1: Introdução

Nesse capítulo foram apresentados aspectos gerais em relação ao tema a ser tratado, incluindo a justificativa de pesquisa. Foram então definidos o objetivo geral e os objetivos específicos necessários para que este seja alcançado, bem como as delimitações.

Capítulo 2: Fundamentação Teórica

O segundo capítulo aborda, por meio de revisão bibliográfica, temas como projeto e execução de obras de construção civil. Após, é trazido um conjunto de abordagens e a evolução histórica de pesquisas sobre construtibilidade, nacional e internacionalmente, fruto de uma revisão bibliométrica integrativa.

Capítulo 3: Método

No capítulo de método há a caracterização da pesquisa quanto às diferentes classificações. Após, apresenta-se a descrição do método em suas etapas (*survey*, definição preliminar e definitiva de indicadores, avaliação de projetos e validação).

Capítulo 4: Resultados e Discussão

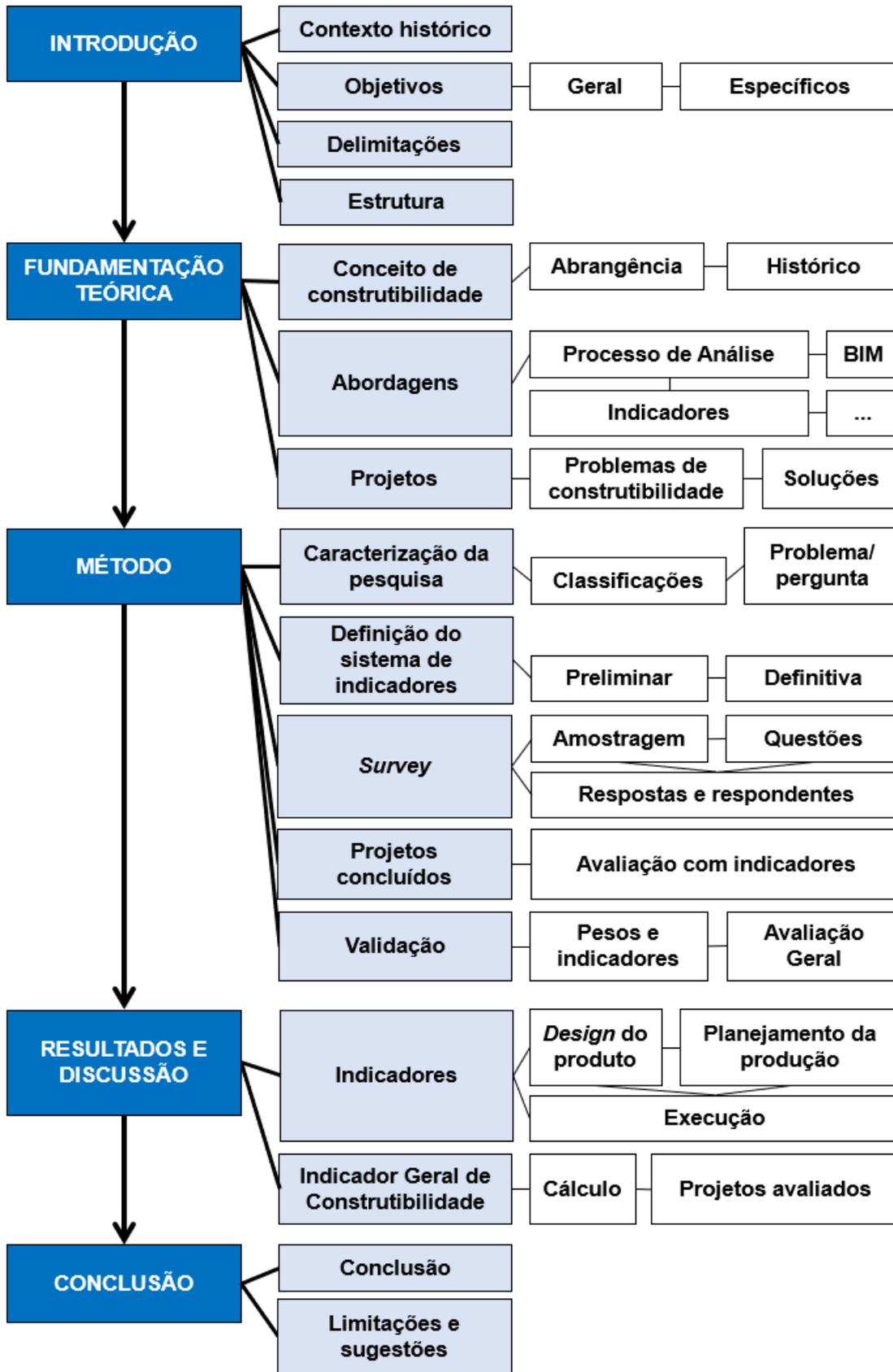
Neste espaço do relatório de pesquisa são apresentados os indicadores definidos, método de cálculo e características relevantes relacionadas a cada indicador. Também ocorre a contextualização com contribuições obtidas ao longo do *survey* e da etapa de validação, bem como outras pesquisas em construtibilidade.

Capítulo 5: Conclusão

O capítulo de conclusão retoma todo o trabalho e realiza seu fechamento. Nele são indicadas as limitações de sua abrangência e método, bem como sugestões para pesquisas futuras.

Na sequência, são listadas as **referências**, **anexos/apêndices** e as **bases de formatação** deste trabalho.

Figura 1 – Estrutura da dissertação



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conhecimentos que basearam o desenvolvimento deste trabalho. São evidenciados conhecimentos relativos à Engenharia Simultânea e sobre Construtibilidade. Também se evidencia o processo de projeto de edificações e soluções para a melhoria da construtibilidade, incluindo os sistemas de indicadores.

2.1 CONSTRUTIBILIDADE

Construtibilidade, da mesma forma que outros conceitos, passou por evolução em seu entendimento. Dessa forma, para conhecer seu estado-da-arte e transformação, realizou-se revisão bibliométrica integrativa em repositórios e bases nacionais e internacionais. Os aspectos conceituais e definições obtidos na revisão são discutidos ao longo deste capítulo, considerando essa evolução. O método de revisão e bibliometria, por sua vez, são detalhados no Apêndice A.

Kannan e Santhi (2018) apontam que o conceito de construtibilidade seria o único criado pela área de gestão de construção civil, não sendo adaptação de outras indústrias. Entretanto, vários outros autores como Almeida (2013), Maciel (2014) e Vivan (2011) indicam a ligação de construtibilidade com a Engenharia Simultânea, cuja transcrição teria ocorrido de forma similar à construção enxuta, partindo dos princípios gerais para os demais setores industriais como a construção civil.

Engenharia Simultânea, ou projeto simultâneo, integra processos, produção e assistência, refletindo a preocupação com todo o ciclo de vida de um produto, com foco em custo, prazo, qualidade e necessidades dos clientes. Pressupõe-se o envolvimento de todos os participantes do processo produtivo, com trabalho em equipe envolvendo, inclusive, os engenheiros de processo e de produto (NEDER, 2010; HERNANDES, 2017; CAMPOS, 2011). A maior ou menor ligação com a Engenharia Simultânea depende do conceito de construtibilidade considerado, ou seja, da extensão ao longo do ciclo de vida da edificação.

Para que se possa observar tal característica, o Quadro 1 apresenta as principais definições sobre construtibilidade levantadas na revisão integrativa:

Quadro 1 - Definições de construtibilidade

Autor ou Instituição	Definição
<i>Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (1983)</i>	Construtibilidade é a extensão do <i>design</i> da edificação de modo a facilitar a sua construção, sujeita a todos os requisitos para sua completa execução.
O'Connor e Tucker (1986)	Capacidade das condições de projeto em garantir a utilização ótima dos recursos de construção.
<i>Construction Industry Institute (CII) (1987)</i>	O uso ótimo do conhecimento e da experiência em construção no planejamento, projeto, contratação e trabalho no canteiro, para atingir os objetivos globais do empreendimento.
Sabbatini (1989)	“[...] habilidade de algo em ser construível ou a qualidade do que é capaz de ser construído. [...] o conceito de construtibilidade fundamenta-se no seguinte fato: para que seja otimizado todo o processo da construção, há necessidade de se considerar, na etapa de projeto, os fatores relacionados com as operações construtivas.”
<i>American Society of Civil Engineers (ASCE) (1991)</i>	Construtibilidade é a capacidade de ser construído. Programa de construtibilidade é a aplicação de uma disciplinada e sistemática otimização dos aspectos relacionados à construção ao estudar a viabilidade, <i>design</i> , fornecimento de materiais, construção e outras fases com a experiência de um time com conhecimento em construção.
Griffith e Sidwell (1995)	Consideração detalhada dos elementos de projeto para atender os requerimentos técnicos e financeiros do empreendimento, considerando quando possível a relação projeto-construção para melhorar a efetividade do projeto e com isto subsidiar o processo de construção no canteiro.

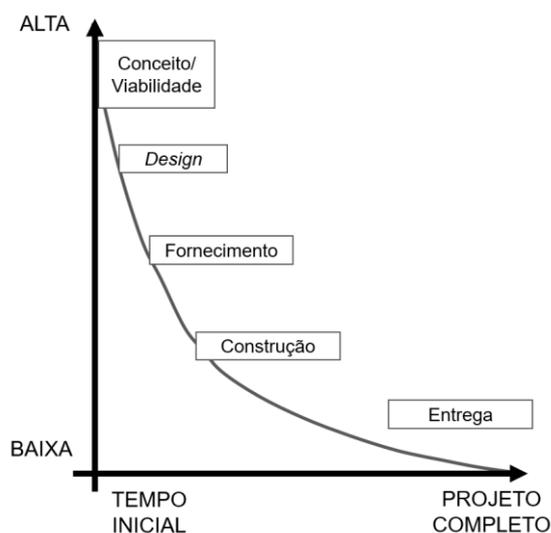
Fonte: Cavalcante (2016), Jarkas (2010), Sabbatini (1989) e ASCE (1991).

Do Quadro 1, observa-se que construtibilidade é um conceito relacionado à facilidade de construção e de conhecimento envolvido nos processos construtivos (trazendo aspectos de execução (processo) às definições do projeto (*design* e especificação)). A construtibilidade, portanto, envolve o uso de conhecimento em execução

ou etapas posteriores àquela em que o empreendimento de construção civil se encontra, com vistas a facilitá-las e permitir o uso dos recursos de materiais e de mão de obra previstos, conceito adotado no presente trabalho. Quando a etapa do empreendimento que se considera é a etapa de projeto (definição do escopo do produto), tem-se o que em língua inglesa é definido como *buildability* (JARKAS, 2010) e, por poucos autores em língua portuguesa como Silva (2018), como *edificabilidade*.

A ideia de intervir na etapa de projeto (*buildability*) permite trabalhar as etapas iniciais, onde há as maiores possibilidades de intervenção no empreendimento com vistas a aumentar sua construtibilidade ou influência em custos (Figura 2). Entretanto, segundo Saffaro, Santos e Heineck (2004), decisões gerenciais como a sequência de execução e gestão do empreendimento (como a ordem entre estruturas de concreto e alvenarias de vedação, por exemplo) permitem ganhos de construtibilidade em etapas posteriores ao desenvolvimento dos projetos.

Figura 2 - Habilidade em influência de custos ao longo do empreendimento de construção



Fonte: ASCE (1991)

Já a definição com desenvolvimento estadunidense chamada *constructability* envolve mais etapas do ciclo de vida da edificação (LAM; WONG; CHAN, 2006). Ao longo deste trabalho será adotado um único termo: “construtibilidade”, para ambas as abordagens (projeto ou ciclo de vida completo), seguindo a produção bibliográfica nacional.

O desenvolvimento de empreendimentos de construção em que se atue buscando maior construtibilidade (o que se traduz em índices maiores em sistemas de

indicadores) apresenta benefícios como melhoria da produtividade em canteiro, qualidade do produto e menor consumo de mão de obra (LAM *et al.*, 2007). A relação entre construtibilidade e custos de produção ou sustentabilidade, por sua vez, merece maior atenção em sua abordagem.

Poh e Chen (1998) conseguiram observar relação positiva entre índices mais altos de construtibilidade e maior produtividade. No entanto, quando a análise não é de produtividade física, mas de custo de construção, apontam ser grande o número de variáveis que influenciam, não tendo conseguido observar correlação, neste caso. Outros pesquisadores chegaram a conclusões diversas, podendo apontar fatores em que maior construtibilidade levaria a menor custo, ou que outros fatores influenciem positivamente na escolha por métodos construtivos com indicadores de construtibilidade maiores, mesmo que de maior custo. Exemplos dessas duas condições serão apresentados a seguir.

Considerando um sistema construtivo em concreto armado e alvenaria de vedação vertical em bloco cerâmico, *Ceco Concrete Construction Co.* (1985) *apud* Maranhão (2000) apresenta o disposto no Quadro 2, o que ilustra um exemplo de relação entre redução de custo e aumento de construtibilidade. Para a elaboração do Quadro 2, consideraram-se os custos de construção de um edifício hipotético em concreto armado, um deles com ênfase na economia em materiais permanentes (variabilidade de seções estruturais, com redução das mesmas nos pavimentos superiores, pois as cargas vão sendo reduzidas) e outro com ênfase na facilidade de execução (constância nos elementos estruturais, com manutenção da configuração do pavimento-tipo, mesmo que haja desperdício de concreto e armadura e redução de mão de obra em execução de formas), ou seja, na construtibilidade, onde se nota um custo total menor.

Outros pesquisadores, como Chiang, Chan e Lok (2006), avaliaram o custo do uso de pré-fabricados, considerados sistemas com maior construtibilidade. Em Hong Kong, onde se observa maior uso de pré-fabricados e não há concentração de mercado de fornecedores, ou seja, a presença de concorrentes evita distorções de preço, ainda assim o custo dos pré-fabricados para a construção civil se demonstra superior ao de concreto armado convencional, tornando-se mais vantajoso quando levados em conta outros fatores como a qualidade e melhoria do cronograma de obra, fatores que podem levar a vantagens em termos de custos, não contabilizadas no estudo citado.

Quadro 2 - Custos da estrutura de concreto de um edifício hipotético [US\$/m²]

Item	Ênfase				≠ [%]
	Materiais permanentes (redução dos elementos estruturais nos pavimentos superiores)		Construtibilidade (reaproveitamento de formas e constância de seções transversais estruturais)		
Concreto	30,68	27 %	32,29	33 %	5
Aço	24,22	22 %	26,91	28 %	11
Formas	56,51	51 %	37,67	39 %	-33
Custo total	111,41	100 %	96,87	100 %	-13

Fonte: Adaptado de *Ceco Concrete Construction Co.* (1985) *apud* Maranhão (2000)

Dentro dos projetos, cada uma das decisões adotadas pelo projetista possui influência no comportamento de um edifício, seja em termos de desempenho, seja em termos de custos (MASCARÓ, 2004). Essas decisões também irão influir na construtibilidade do empreendimento.

Um último benefício apontado à melhoria da construtibilidade seria a produção de edifícios mais sustentáveis (ZHONG; WU, 2015; AJAYI; OYEDELE, 2018) pelo uso de sistemas construtivos mais racionalizados, como pré-fabricados, que diminuem a geração de resíduos do canteiro. Zhong e Wu (2015) apontam, também, que edifícios com maior construtibilidade podem ter o atributo da facilidade de demolição.

A afirmação da maior sustentabilidade, no entanto, exige olhar atento. Zhong e Wu (2015) apontam características de busca pela construtibilidade sob um foco diferente de Maranhão (2000), por exemplo. A opção por seções estruturais constantes reduz resíduos de madeira em formas e otimiza o uso de mão de obra, facilitando a execução, mas gera maior desperdício incorporado, o que, nesse caso, iria contra características mais sustentáveis como a redução de uso de insumos como aço e concreto.

Ao observar os diferentes aspectos ressaltados pelos autores citados neste item, observa-se que pode existir relação positiva entre construtibilidade e outras características requeridas, como redução de custos de construção ou execução mais sustentável. Entretanto, para considerar verdadeira tal relação, é necessário atentar a cada decisão de projeto e método executivo adotados, fazendo uma avaliação conjunta de todos esses aspectos.

2.1.1 Princípios e conceitos de construtibilidade

Sabbatini (1989) indica que a construtibilidade é propriedade inerente a quaisquer construções. Entretanto, apesar de intrínseca, faz-se necessário definir quais são os aspectos envolvidos em sua definição e consequente melhoria. Kifokeris e Xenidis (2017) apontam como base para entendimento do que é construtibilidade e variáveis envolvidas os conceitos de construtibilidade (CC), os quais se basearam nos princípios de construtibilidade (CP).

Ambos serão listados a seguir, por meio do Quadro 3 e Quadro 4, respectivamente. Do CC1 ao CC7, os conceitos são relacionados à viabilidade e *design* do produto; do CC8 ao CC15, à execução e, do CC16 ao CC23, entrega do empreendimento (KIFOKERIS; XENIDIS, 2017).

Quadro 3a – Conceitos de construtibilidade (CC)

	Descrição
CC1	O programa de construtibilidade é uma parte integrante do plano de execução do empreendimento e constitui uma saída da contribuição dos planejadores do empreendimento em todos os seus níveis hierárquicos.
CC2	A equipe deve incluir todos os atores envolvidos para garantir a implementação ininterrupta dos requisitos de construtibilidade ao longo do ciclo de vida do empreendimento.
CC3	A efetiva integração entre <i>design</i> e construção deve ser realizada por meio da exploração do conhecimento de construção e experiência trazidas pelos executores desde as etapas de estudo de viabilidade e primeiros rascunhos do produto.
CC4	A estrutura contratual que governa o empreendimento deve ser alinhada com os métodos construtivos aplicados.
CC5	As metas do cronograma devem ser definidas e claras tão cedo quanto possível.
CC6	O detalhamento e seleção dos métodos construtivos iniciais deve estruturar o <i>design</i> para obter operações em campo fluidas.
CC7	O adequado estudo do <i>layout</i> de canteiro deve promover eficientes e ininterruptos fluxos de trabalho e boa performance no uso de recursos durante todo o ciclo de vida do empreendimento.

Fonte: Kifokeris e Xenidis (2017)

Quadro 3b – Conceitos de construtibilidade

	Descrição
CC8	Planejar a sequência no processo de construção deve preceder todos os projetos restantes (como o arquitetônico, fornecimento e outros) porque ela dita o <i>design</i> e fornecimento de materiais e equipamentos.
CC9	A cooperação de todos os especialistas deve ser facilitada por tecnologias de informação avançadas, que se sobreponham à fragmentação de áreas especializadas durante o ciclo de vida do empreendimento.
CC10	A maior quantidade possível de simplificações e racionalizações devem ser implementadas nos projetos e revisões feitas pelo coordenador de projetos para que os <i>designs</i> possam configurar uma construção eficiente.
CC11	Padronização de elementos do projeto deve ser escolhida sempre que possível, mas não em uma extensão que qualitativamente piore o produto entregue pelo empreendimento.
CC12	As especificações técnicas devem ser simplificadas e configuradas para uma construção eficiente, mas não tão extensas para piorar a performance do empreendimento.
CC13	A modularidade e pré-fabricação dos elementos estruturais deve ser considerada, estudada cuidadosamente e usada quando puder facilitar a fabricação, transporte e instalação.
CC14	Recursos de materiais, equipamentos e de mão de obra devem ser adequadamente dispostos no local (em um <i>layout</i> ou vários) desde a etapa de projeto.
CC15	Construções devem receber cronograma que conte com possíveis condições climáticas no período. Caso isso não seja possível, alternativas como uso mais extenso de pré-fabricação devem ser disponibilizadas.
CC16	Atividades de construção devem ser efetivamente planejadas para prevenir conflitos que levem a problemas no uso de recursos e redução de produtividade.
CC17	Aspectos não cobertos por projetos devem, na implementação do processo de construção, ser tratados com mecanismos inovadores.
CC18	Inovação diminui a necessidade de mão de obra e aumenta produtividade, segurança e mobilidade no interior do canteiro.
CC19	Inovações na introdução, uso, seleção e modificação dos equipamentos disponíveis (que aumentem a produtividade) devem ser consideradas.
CC20	Pré-fabricados devem ser estimulados se aumentarem produtividade em canteiro, segurança e mobilidade.

Fonte: Kifokeris e Xenidis (2017)

Quadro 3c – Conceitos de construtibilidade

	Descrição
CC21	Inovação no uso, reuso e funções pós-construção de instalações provisórias devem ser consideradas.
CC22	Procedimentos de avaliação pelos contratantes devem ser estabelecidos para constituir um importante critério para seleção de futuros colaboradores em novos empreendimentos.
CC23	Um programa de avaliação da construtibilidade deve ser estabelecido e documentado para a construção de um banco de dados para a gestão de construções.

Fonte: Kifokeris e Xenidis (2017)

Quadro 4 – Princípios de construtibilidade (CP)

	Descrição
CP1	Compatibilização entre projetos.
CP2	Inserção do conhecimento de especialistas em construção.
CP3	Uso das habilidades dos atores envolvidos no empreendimento.
CP4	Entendimento do todo e dos objetivos específicos do empreendimento.
CP5	Consideração dos recursos disponíveis.
CP6	Fatores externos e acesso ao canteiro.
CP7	Métodos construtivos e cronogramas realistas e ajustados ao empreendimento.
CP8	Especificações transparentes.
CP9	Inovação.
CP10	Implementação de um banco de dados sobre construção.

Fonte: Kifokeris e Xenidis (2017)

Os CC e CP permitem verificar que a construtibilidade se relaciona a aspectos como simplificação, padronização, inovação e pré-fabricação, dentro das possibilidades de inserção em cada empreendimento. Observa-se relação além da escolha de método construtivo e projeto, mas entre construtibilidade e elementos de execução como o canteiro de obras (*layout* e localização).

2.1.2 Evolução histórica do tema

Sendo a construtibilidade definida como um conjunto de princípios e conceitos listados no item anterior, houve todo um processo de evolução nessa definição, com seu fortalecimento devido à contribuição de pesquisas em diferentes períodos e locais. Neste item, uma parcela dessa evolução será apresentada, ilustrada pela Figura 3 e descrita nos parágrafos que seguem.

1724 – Primeiros registros de profissionais do tipo *Master Builder* nos Estados Unidos da América (EUA), que atuavam em diferentes disciplinas de projeto de Engenharia e Arquitetura e na execução (YATTES; BATTERSBY, 2003). Esse formato de profissional, pela multidisciplinariedade, projeta de forma mais compatível entre diferentes sistemas e execução, entretanto, se forem considerados os edifícios atuais, com mais sistemas e subsistemas, torna-se mais difícil haver um profissional com conhecimento satisfatório em todas as áreas.

1962 – *Sir Harold Emmerson* lançou, no Reino Unido (UK), o *Emmerson Report*, documento que aponta inconsistências entre o que era disposto em projeto e a posterior execução (LAM; WONG; CHAN, 2006; KIFOKERIS; XENIDIS, 2017). Dentro da bibliografia sobre construtibilidade, o *Emmerson Report* é citado como exemplo quando se menciona a necessidade de trazer a experiência dos envolvidos na execução na melhoria dos projetos desenvolvidos.

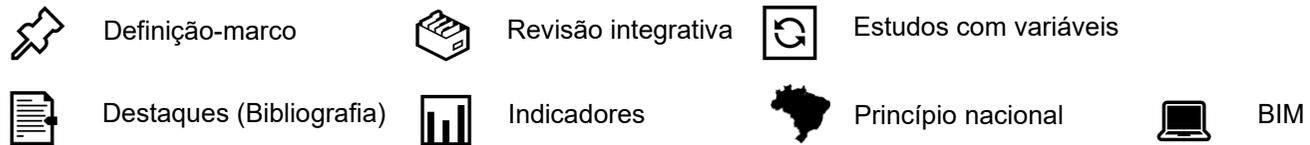
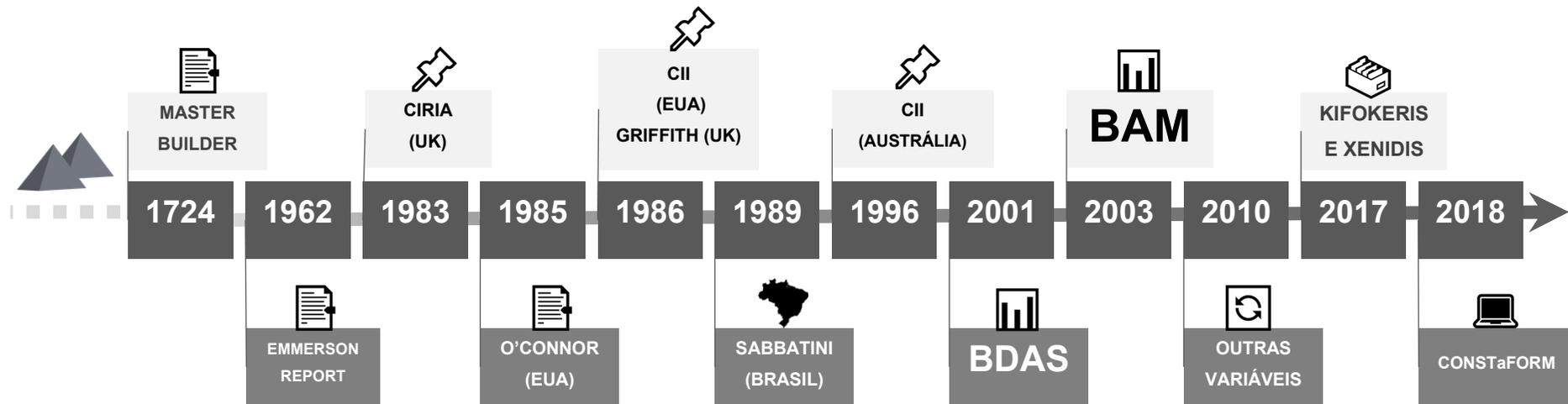
1983 – A *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA) definiu o termo *buildability* no documento “*Buildability: an assessment*” (JARKAS, 2010). Essa definição também ocorreu no UK.

1985 – *James O’Connor* publicou um dos primeiros relatórios de pesquisa (acessíveis aos demais pesquisadores) nos EUA (SABBATINI, 1989).

1986 – O *Construction Industry Institute* (CII) dos EUA ampliou o conceito *buildability* e estabeleceu a definição *constructability*, abrangendo mais etapas de um empreendimento de construção (JARKAS, 2010). Nesse mesmo ano, *Griffith* lançou no UK um dos primeiros relatórios de pesquisa, com pioneirismo similar ao de *O’Connor* (SABBATINI, 1989).

1989 – Ocorreu a primeira citação nacional ao tema “construtibilidade”, com referência aos primeiros estudos no exterior, por Sabbatini (1989). Observa-se na Figura 3 que houve diferença de quatro a seis anos para início dos estudos propriamente

Figura 3 - Evolução do conhecimento sobre construtibilidade



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

ditos de construtibilidade (com conceito definido) no Brasil, considerados os documentos acadêmicos e institucionais gerados nos EUA e no UK, respectivamente.

1996 – O CII australiano publicou a sua versão com definição e princípios de construtibilidade (LAM; WONG; CHAN, 2005).

2001 – Singapura deu início ao *Buildable Design Appraisal System* (BDAS) (LAM; WONG; CHAN, 2005). O BDAS foi incorporado ao código de obras de Singapura, consistindo em um sistema de indicadores de construtibilidade. Nos anos seguintes, houve melhorias e atualizações.

2003 – Inspirando-se no BDAS, houve o desenvolvimento da primeira versão do *Buildability Assessment Model* em Hong Kong. O sistema de indicadores de construtibilidade BAM foi produzido considerando o mercado de Hong Kong, mas com origem acadêmica, sem previsão de adoção como parte do código de obras (LAM *et al.*, 2007).

2010 – Jarkas (2010) e outros autores pesquisaram com o objetivo de verificar relações entre construtibilidade e variáveis como custo, tempo, produtividade e outras.

2017 – Kifokeris e Xenidis (2017) publicaram uma revisão internacional e relacionaram construtibilidade às demais áreas de conhecimento do setor de construção. Dentro desse trabalho, também posicionam a diferença entre *buildability* e *constructability*, por vezes usados como termos sinônimos. O termo *constructibility* eventualmente surge em bibliografia, mas em proporção muito inferior aos demais termos.

2018 – O *CONSTaFORM Add-in* foi gerado para analisar construtibilidade em formas para concreto armado. Utilizou-se modelagem de informação da construção – *Building Information Modelling* (BIM) como base para o *plug-in* do sistema de avaliação (KANNAN; SANTHI, 2018). Esse formato de avaliação com BIM facilita o processo de cálculo de indicadores, mas depende de modelagem adequada à finalidade desejada, inserindo-se os parâmetros de cálculo nos objetos inseridos.

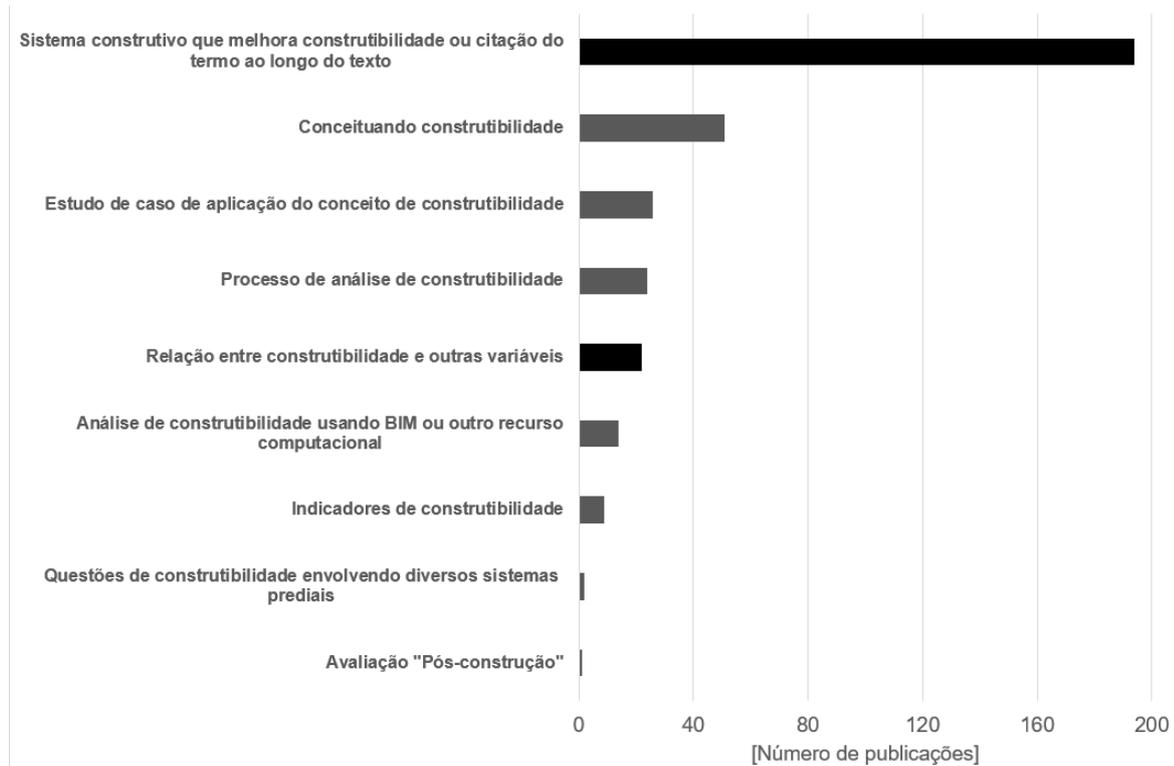
Nos itens a seguir, tratar-se-á com maior profundidade o processo de evolução cujos marcos foram destacados na Figura 3. Mais de uma abordagem é possível na melhoria da construtibilidade, dando-se destaque aos sistemas de indicadores, com origem após os anos 2000.

2.1.3 Abordagens sobre construtibilidade

A pesquisa científica relacionada à construtibilidade buscou, desde as primeiras definições de *buildability* e *constructability* até então, demonstrar de que forma seria possível introduzi-la como filosofia nos empreendimentos de construção civil, com quais ferramentas e processos e os benefícios nessa introdução. Com diferentes abordagens, nota-se a evolução no conceito de construtibilidade na forma com que o mesmo se faz presente nas referências resultantes da revisão integrativa.

Na Figura 4 apresenta-se cada abordagem distinta, sendo que todas serão elucidadas nos parágrafos posteriores. Dentre elas, a mais antiga é a de conceituação de construtibilidade, presente em publicações dos anos 1980 e 1990, com menor presença após os anos 2000, como no estudo de Gerth *et al.* (2013). Durante esse período, no Brasil, tem-se trabalhos pioneiros ao trazer essa conceituação, como as teses de Sabbatini (1989) e de Melhado (1994). Ainda há maior presença de discussões envolvendo este conceito em artigos de eventos como o ENTAC 1998, tais como No-vaes (1998) e Souza e Melhado (1998).

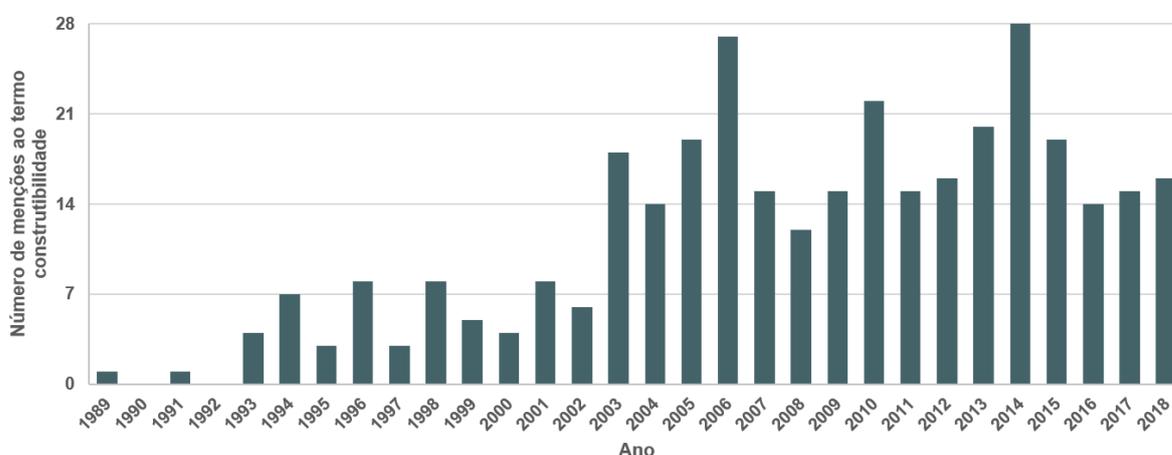
Figura 4 - Abordagens sobre construtibilidade (revisão integrativa)



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Nos últimos vinte anos, o conceito de construtibilidade como maior facilidade de execução demonstra-se consolidado, tanto que há uma grande quantidade de publicações científicas, principalmente teses e dissertações, onde há simples menção ao termo ou seu uso como atributo a sistemas e elementos construtivos com inovação, levando aos totais presentes na Figura 5 e ao crescimento das menções. Essa forma de abordagem foi a mais presente dentre as referências selecionadas (56 %), como em Zucchetti *et al.* (2011), que propõem um sistema de interface entre alvenaria estrutural e esquadrias.

Figura 5 - Menções sobre construtibilidade verificadas na revisão integrativa



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)³

Alguns pesquisadores trabalham com a verificação dentro de empresas de construção quanto à incorporação dos conceitos de construtibilidade dentro de suas rotinas, em estudos de caso como o de Chiang, Chan e Lok (2006). Essa incorporação pode ocorrer na forma de um processo de análise de construtibilidade onde, após as primeiras definições do produto e de seu *design*, há reuniões com todos os atores envolvidos buscando tanto eliminar incompatibilidades, como buscar soluções com maior facilidade de execução, como mencionado por Gransberg e Windel (2008) e Del Vecchio (2011). Esse processo de análise de construtibilidade também é recomendado para empreendimentos com características únicas, onde há grande chance de erros durante o processo construtivo (GIBSON JR *et al.*, 1996). Dentro dele, também

³ O período de pesquisa referente às estatísticas pode ser consultado no **Apêndice A**.

é possível inserir conhecimentos advindos de etapas posteriores do ciclo de vida da edificação, como aqueles obtidos de uma avaliação pós-ocupação, como elementos que favorecem os processos de manutenção (GARSDEN, 1995).

Diante do conceito de construtibilidade, alguns pesquisadores buscaram esclarecer sua relação com outras variáveis, sendo a principal delas a produtividade da mão de obra (JARKAS, 2010). Kifokeris e Xenidis (2017) foram além, apresentando ligações entre construtibilidade e outras áreas do conhecimento na construção civil como a gestão do conhecimento ou análises custo-benefício.

A abordagem de “questões relativas à construtibilidade em diferentes sistemas prediais” demonstra publicações cujo foco foi demonstrar aspectos tecnológicos para algum sistema construtivo em específico, em busca de maior construtibilidade. Uma dessas publicações foi a de Navon, Shapira e Shechori (2000), com aspectos relacionados às dimensões e posicionamento de armaduras longitudinais positivas e negativas em vigas de concreto armado.

Uma forma de realizar o processo de análise de construtibilidade está no uso de ferramentas BIM ou outros recursos computacionais. Kannan e Santhi (2018) apontam que a análise poderia usar recursos de BIM 4D (três dimensões espaciais e outra de tempo) para antecipar processos construtivos ao simular a evolução temporal do empreendimento, ou na utilização de um *plugin* que lê dados do modelo BIM. Pode-se citar, também, a possibilidade de compatibilização nos modelos BIM, que evitam erros e inconsistências quando os elementos inseridos foram adequadamente modelados, ou seja, com parâmetros geométricos adequados, por exemplo, um componente de esquadria com o atributo de bloqueio de inserção fora de paredes ou locais com instalações na região de abertura.⁴

2.1.4 Sistemas de indicadores de construtibilidade

Quando se considera que a construtibilidade envolve o uso ótimo do conhecimento em construção existente advindo dos atores envolvidos no empreendimento, bem como de eventuais bancos de dados corporativos, pode haver interpretações

⁴ Informações relevantes envolvendo modelagem das edificações (BIM) e construtibilidade serão explanadas ao longo deste trabalho nos capítulos de Fundamentação Teórica, Método e Resultados e Discussão.

subjetivas, apesar de relevante valer-se de tal recurso. Então, uma forma objetiva de análise de construtibilidade, correspondente à última abordagem do tema verificada em revisão, está na elaboração e uso de sistemas de indicadores de construtibilidade.

A construção desses sistemas, formatos e objetivos é diversa, com poucas publicações nessa linha no Brasil. Uma delas é o trabalho de Narloch (2015), que se dedicou à *construção* de um sistema de indicadores de construtibilidade. Nele, há o foco em aspectos geométricos do edifício, considerando princípios como padronização e repetição, mas os indicadores propostos penalizam demais variabilidades (tais como diferentes seções de pilares no pavimento-tipo, por exemplo) e, na construção de um indicador geral de construtibilidade, todos os itens avaliados são considerados como de mesma relevância. Narloch (2015) considera, apenas, a possibilidade de utilização de médias ponderadas (calculadas em função de alguma característica dos edifícios, como área construída com tipologias diferentes) quando os apartamentos de um mesmo empreendimento apresentarem diferenças construtivas ou geométricas.

Há mais outros dois trabalhos desenvolvidos na forma de trabalho de conclusão de curso e na mesma universidade (UFSC). Essas pesquisas realizaram, dentre outras partes do método, a aplicação dos sistemas internacionais em edifícios brasileiros (uma unidade de CRAS, um empreendimento em alvenaria estrutural e outro em concreto armado moldado *in loco* por Delegregó (2017) avaliados pelo *Buildable Design Appraisal System* (BDAS) e arranha-céus catarinenses avaliados pelo *Buildability Assessment Model* (BAM) por Maestri (2018)), na forma de estudos de caso, e explicam algumas formas de avaliação da construtibilidade.

Delegregó (2017), por sua vez, aponta o sistema internacional que usou em sua avaliação como o mais adequado à realidade brasileira, bem como desenvolveu uma rotina computacional de extração de dados de modelos BIM para quantificação da construtibilidade. Esse autor sugeriu, em estudos futuros, que se utilizassem dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para a formulação de indicadores nacionais de construtibilidade relacionados à mão de obra.

Maestri (2018) realizou essa aplicação considerando empreendimentos de uma mesma empresa e sugeriu que trabalhos futuros avaliassem a diferença entre empresas em termos de construtibilidade dos empreendimentos realizados. A proposta de estudo futuro representaria avanço aos estudos relacionados à construtibilidade, mas

para que o comparativo seja válido, seria necessário buscar características que apresentassem homogeneidade entre projetos de empresas diferentes – como experimentos em laboratório, onde algumas variáveis são fixas e outras passam por variações, a fim de medir os impactos nos resultados experimentais.

As pesquisas desenvolvidas no exterior, apresentadas na forma de artigos de periódicos, demonstram algumas formas de avaliação da construtibilidade por indicadores com foco no *design* do produto ou *buildability*. Em sua maioria, elucidam aspectos do sistema implantado em Singapura (BDAS), como política pública; ou indicam as características de um sistema de indicadores de origem acadêmica proposto para Hong Kong (BAM).

Lam *et al.* (2013) é um exemplo de publicação com este conteúdo. Após apresentar as características do BAM, os autores apontam a possibilidade de adaptação do modelo para outros mercados com características similares ao de Hong Kong, dadas as vantagens de implementar um sistema de indicadores. Para mercados distintos, segundo esses autores, pode ser válida a criação de um sistema de indicadores com aspectos ajustados ao mercado, tecnologias construtivas e contexto socioeconômico locais.

Nos itens a seguir, serão detalhados os sistemas BDAS e BAM. Apresentam-se os contextos em que cada um fora proposto e os respectivos métodos de cálculo. Ambos os sistemas foram concebidos com pontuações para indicadores gerais de empreendimentos em escalas que não resultam em exatos cem pontos.

2.1.4.1 *Buildable Design Appraisal System* (BDAS)

O sistema BDAS foi implantado em Singapura em busca de maior construtibilidade nas edificações do país, com foco, principalmente, na redução do consumo de mão de obra (POH; CHEN, 1998). A construção civil no país, até então, possuía uso mais intenso de mão de obra, principalmente estrangeira, que passava por diversos problemas sociais, os quais o Estado buscou diminuir (LAM; WONG, 2008).

O BDAS faz parte do código de obras nacional, existindo um escore mínimo por classe da edificação para aprovação de projeto nos órgãos competentes, exceto em templos religiosos e condições específicas. Essa exigência fez com que os projetistas precisassem se comprometer em pensar sobre construtibilidade para atendê-la (LAM *et al.*, 2007). As edificações são divididas nas classes listadas a seguir:

- Residencial unifamiliar privado (condomínios residenciais ou execução de várias unidades).
- Residencial multifamiliar ou locação (Hotéis, *Hostels* e similares).
- Comercial.
- Industrial.
- Escola.
- Institucionais e outras.

A avaliação da construtibilidade pelo BDAS consiste em indicadores variando de zero a um multiplicados por pesos (relevâncias) de quarenta e cinco para a nota de sistemas estruturais, quarenta e cinco para a nota de vedações verticais e outras características como padronização e modularidade com peso um e soma de até vinte pontos. Pontos-bônus são dados para componentes únicos e integrados como banheiros ou abrigos residenciais pré-fabricados. (LAM *et al.*, 2007; SINGAPURA, 2017). Assim sendo, a pontuação limite que pode ser atingida por um projeto é de cento e dez pontos, descrita pela seguinte equação (1) (válida para todas as classes de edificações):

$$\mathbf{B-Score} = 45 \cdot [\Sigma(A_s S_s) + SBFP] + 45 \cdot [\Sigma(L_w S_w) + C + ABFP] + 1 \cdot N \quad (1)$$

Onde:

- B-Score = indicador geral de construtibilidade (*buildability*) do empreendimento.
- A_s = percentual de área construída utilizando determinado sistema estrutural.
- S_s = índice de economia de mão de obra segundo o sistema estrutural, com escala de zero a um, tabelado.
- L_w = percentual de área de paredes construída com determinada tipologia.
- S_w = índice de economia de mão de obra segundo o sistema de paredes (vedação vertical), com escala de zero a um, tabelado.

- C = pontos para *designs* simples (há uma tabela de classificação considerando a presença de reentrâncias e saliências de fachada, a profundidade desses elementos e sua presença em relação ao número total de pavimentos).
- N = pontos para pré-fabricados em diferentes sistemas como elétrico e hidrossanitário.
- SBFP = feições estruturais pontuadas, como padronizações de elementos, repetitividade vertical, parede diafragma e outros.
- ABFP = feições arquitetônicas pontuadas, como uso de *drywall* ou pisos em madeiras modificadas.

Outros itens a considerar dentro desse sistema (SINGAPURA, 2017) são:

- *Área construída*: o sistema começa a valer em obras a partir de 2.000 m². Após, são estabelecidas as faixas de 2.000 m² a 5.000 m², 5.000 m² a 25.000 m² e acima de 25.000 m², com somatórios mínimos de construtibilidade variando entre a área construída e a classe de construção.
- *Reformas, demolições, ampliações*: também estão sujeitas ao sistema de indicadores, desde que possuam a área mínima necessária para avaliação (2.000 m²). A demolição não é avaliada, mas pode ocorrer em paralelo a novas construções em um mesmo terreno.
- *Usos mistos*: deve-se ponderar os índices mínimos segundo a proporção em área construída de cada uso (exemplo: loja comercial no térreo e mezanino e três pavimentos-tipo residenciais acima).
- *Mais de uma edificação*: pondera-se a pontuação pela área construída de cada edificação diferente.
- *Tecnologias mistas*: deve-se pontuar em média ponderada de uso de cada uma tecnologia (exemplo: edifício com garagem em concreto armado e pavimentos-tipo em alvenaria estrutural).
- *Atualizações*: ao longo do tempo há atualizações do sistema de indicadores, estando as construções submetidas à versão atualizada do sistema durante a aprovação de seu projeto.

- *Princípios*: os índices refletem os chamados princípios dos 3S (em inglês): simplificação (*simplicity*), padronização (*standardisation*) e elementos integrados e com menor número de partes/peças (*single integrated elements*). Singapura (2017) aponta que seria possível a obtenção de bons escores de construtibilidade com bons *designs*, mas padronizações e simplificações levam a pontuações maiores, a despeito de aspectos mercadológicos.

Na versão mais recente do BDAS, também foram inseridos indicadores para um sistema em separado que mede a construtibilidade sob o conceito *constructability*. São pontuados itens como sistemas de formas, acesso, tecnologias de monitoramento, dentre outros itens relacionados (SINGAPURA, 2017). Para o cálculo dos indicadores em projetos, o *Building and Construction Authority* (BCA) fornece um manual em seu sítio eletrônico com um guia e os quadros necessários.

Observando-se a estrutura e o método de cálculo do BDAS, verifica-se que a escala de cada indicador pode ser fixa (de zero a um), mas que a relevância de cada grupo de indicadores na construtibilidade é considerada de forma distinta (por meio dos pesos). Nos quadros que contêm os indicadores por tecnologia construtiva, verifica-se que os maiores níveis de padronização e industrialização (ou seja, com redução da demanda de mão de obra) levam a indicadores maiores de construtibilidade.

Também é possível observar que nem todas as tipologias construtivas adotadas no Brasil e em outros países estão presentes no sistema de Singapura, ou não são consideradas como sistemas estruturais (como alvenaria). No caso específico da alvenaria convencional (independentemente do tipo de bloco utilizado), a mesma é desestimulada, sendo um caso de pontuação negativa de construtibilidade.

2.1.4.2 *Buildability Assessment Model* (BAM)

Em Hong Kong, o departamento local de habitação começou a utilizar e priorizar pré-fabricados mesmo antes da proposição acadêmica do BAM, em função de um escândalo em 1985, onde vinte e seis blocos de edificações multifamiliares em concreto armado convencional apresentaram deficiências construtivas e, dentre as opções, era mais econômica a demolição e reconstrução das habitações do que sua reparação. Mais tarde, chegou-se ao alarmante número de cento e noventa e sete

construções demolidas após quatro anos de trabalhos, envolvendo mais de dezesseis mil e seiscentas famílias (CHIANG; CHAN; LOK, 2006).

A formulação do BAM contempla uma soma de pontuações de sistemas estruturais, lajes, vedações externas, telhados, vedações internas, acabamentos, fatores locais e pontos de bônus. Cada uma dessas pontuações está atrelada a um “peso” ou coeficiente, cuja definição, de forma similar ao BDAS, ocorreu por meio de coleta de dados em entrevistas com especialistas (LAM *et al.*, 2007).

A pontuação, também de forma similar, ocorre com ponderação dos elementos na edificação ou no projeto inteiro. Outra similaridade está na ausência de elementos de análise relacionados ao sistema de produção, aspecto que se alinharia ao conceito *constructability*. Entretanto, ao contrário do BDAS, o BAM possui um número maior de parcelas desmembradas, considerando em separado um sistema de paredes e o revestimento, por exemplo.

O indicador geral de construtibilidade (*buildability*) do projeto (B-Score) é calculado pela equação (2):

$$\begin{aligned} \mathbf{B-Score} = & 23 \cdot [\Sigma(V_s B I_s)] + 14 \cdot [\Sigma(A_l B I_l)] + 19 \cdot [\Sigma(A_e B I_e)] + 10 \cdot [\Sigma(A_r B I_r)] + \\ & + 3 \cdot [\Sigma(A_w B I_w)] + 2 \cdot [0,2 \cdot \Sigma(A_{iw} B I_{iw}) + 0,2 \cdot \Sigma(A_{if} B I_{if}) + 0,2 \cdot \Sigma(A_{ic} B I_{ic}) + 0,3 \cdot \Sigma(A_{ew} B I_{ew}) \\ & + 0,1 \cdot \Sigma(A_{rc} B I_{rc})] + 2 \cdot [\Sigma(B I_{bs} COV_{bs}) / SOA B I_{bs}] + 5 \cdot [\Sigma(B I_{bf} COV_{bf}) / SOA B I_{bf}] + \\ & + 12 \cdot [\Sigma(B I_{ss}) / SOA A B I_{ss}] \end{aligned} \quad (2)$$

Suas parcelas e coeficientes são os seguintes:

- V_s = percentual do volume total de componentes estruturais de um determinado sistema.
- A_l = percentual da área construída utilizando determinado sistema de laje.
- A_e = percentual de fachada recoberta por dada vedação vertical.
- A_r = percentual em planta de um sistema de telhado.
- A_w = percentual da área recoberta por um sistema de vedações verticais internas.
- A_{iw} = percentual de áreas de parede interna recobertas por um dado revestimento.

- A_{if} = percentual de áreas de contrapiso recobertas por um dado revestimento.
- A_{ic} = percentual de áreas de teto com determinado revestimento.
- A_{ew} = percentual de áreas de fachada com determinado revestimento.
- A_{rc} = percentual da área de telhado com certo acabamento.
- BI_S = indicador de construtibilidade para o sistema estrutural.
- BI_l = indicador de construtibilidade para o tipo de laje.
- BI_e = indicador de construtibilidade para as vedações externas.
- BI_r = indicador de construtibilidade para o tipo de telhado.
- BI_w = indicador de construtibilidade para as vedações verticais internas.
- BI_{iw} = indicador de construtibilidade para o tipo de acabamento das vedações verticais internas.
- BI_{if} = indicador de construtibilidade para o revestimento de contrapiso.
- BI_{ic} = indicador de construtibilidade para o acabamento de teto.
- BI_{ew} = indicador de construtibilidade para o acabamento de parede externo.
- BI_{rc} = indicador de construtibilidade para o acabamento de telhado.
- BI_{bs} = indicador de construtibilidade para serviços particulares de construção.
- BI_{bf} = indicador de construtibilidade para aspectos particulares do edifício.
- BI_{ss} = indicador de construtibilidade para aspectos específicos locais.
- BI_S = indicador de construtibilidade para o sistema estrutural.
- cov_{bs} = percentual de cobertura de um determinado serviço particular de construção.
- cov_{bf} = percentual de cobertura de um aspecto particular do edifício.
- $SOABI_{bf}$ = soma de todos os indicadores de construtibilidade para aspectos particulares do edifício.
- $SOABI_{bs}$ = soma de todos os indicadores de construtibilidade para serviços particulares de construção.
- $SOAABI_{ss}$ = soma de todos os indicadores de construtibilidade para aspectos específicos locais.

O método de coleta de dados com especialistas em construção, empresas construtoras e agências governamentais recebe críticas por seu caráter qualitativo, como

as tecidas por Jarkas (2010), que analisa tarefas isoladas em algumas de suas publicações, como a produção de formas, levando em conta um banco de dados de produtividade. Segundo este autor, o caráter quantitativo da produtividade de mão de obra evita possíveis vieses existentes nos demais métodos como o do BDAS, BAM e outros sistemas já desenvolvidos em caráter de pesquisa.

Por outro lado, a coleta de dados com especialistas leva em conta o conceito de construtibilidade em envolver o uso ótimo do conhecimento em construção existente para empreendimentos futuros. Dessa forma, é possível refletir que a construção de um sistema de indicadores de construtibilidade pode envolver dados de produtividade (que permitem análise objetiva) associados ao conhecimento de profissionais, alinhando-se ao conceito de construtibilidade e permitindo sua adequada mensuração. Em sistemas de indicadores diversos, é correta a associação entre fatores quantitativos e análises qualitativas associadas, segundo Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001).

2.2 A RELAÇÃO ENTRE PROJETO (ESCOPO DO PRODUTO), EXECUÇÃO E CONSTRUTIBILIDADE

As etapas de definição do escopo do produto (projetos) e execução foram-se dissociando na prática dos profissionais da área de Arquitetura. Engenharia e Construção Civil (AEC). Isso se deve, em parte, ao aumento da complexidade das edificações, com diferentes sistemas, exigindo a atenção de projetistas especializados (MELHADO, 1994).

Diferentes tipos de contratação de obras abarcam diferentes escopos e responsabilidades. O contrato tipo *Design-bid-build* (DBB) promove a separação entre projeto e execução. Já os contratos na modalidade *Design-build* (DB) abrangem projeto e execução fazendo parte do objeto de um único contrato (YATES; BATTERSBY, 2003; ALBUQUERQUE, 2012).

Se a especialização aumenta o conhecimento sobre o sistema definido pelo profissional, como em um contrato DBB, falta visão holística da edificação e de seus processos executivos. Jarkas (2010) aponta que executores reclamam dos custos de construção e das inabilidades dos projetistas em buscar a melhoria dos indicadores de retorno de investimento e a escolha adequada dos métodos e materiais utilizados.

A grande quantidade de atores envolvidos, bem como a falta de conhecimento de execução fazem com que haja problemas de construtibilidade em projetos diversos. Esses problemas são visualizados tanto no Brasil (MELHADO, 1994; BELLAN; FABRICIO, 2010), como em países como Nigéria (MBAMALI; AIYETAN; KEHINDE, 2005) e Croácia (TURINA; CAR-PUŠIĆ; RADUJKOVIĆ, 2013), por exemplo.

Em empreendimentos de construção civil na iniciativa privada brasileira, há diferentes formatos de corpo técnico, resultantes da estrutura da empresa construtora (MELHADO, 1994; BELLAN; FABRICIO, 2010) como: projetistas pertencentes à construtora; escritórios de projeto contratados, submetidos a setores de compatibilização (tendo esse setor contato ou não com a equipe de execução); alguns projetistas contratados e outros externos; proprietários de construtoras sendo os engenheiros responsáveis pela execução (em pequenas empresas); dentre outras configurações. Já no setor de obras públicas existem especificidades quanto ao projeto que serão tratadas a seguir.

Segundo o Tribunal de Contas da União (BRASIL, 2013a), obra pública:

é considerada toda construção, reforma, fabricação, recuperação ou ampliação de bem público. Ela pode ser realizada de forma direta, quando a obra é feita pelo próprio órgão ou entidade da Administração, por seus próprios meios, ou de forma indireta, quando a obra é contratada com terceiros por meio de licitação.

Nas obras públicas também se percebe a separação entre as etapas de definição do *design* do produto e sua efetiva execução. No âmbito dos órgãos públicos, costuma-se realizar a divisão entre projeto básico e executivo, devendo ser o último completamente detalhado e suficiente para execução (BRASIL, 2013a).

A elaboração dos projetos básicos e executivos pode ser realizada pelos próprios órgãos públicos ou, quando os mesmos não possuem corpo técnico competente, por escritórios de projeto ou empresas contratadas por licitação. Proíbe-se que se contrate para a execução o autor do projeto (mesmo que pertencente ao ente público) ou sua empresa, evitando-se qualquer envolvimento que possa gerar margem a comportamentos que prejudiquem o Erário Público. O autor do projeto pode vir a ser chamado apenas na forma de consultor, não como responsável técnico de execução (BRASIL, 1993; BRASIL, 2013a).

Por um lado, a desconexão projeto-execução é incentivada para evitar soluções superdimensionadas, desvios de recursos ou outras práticas indevidas. Em contraponto, pode promover problemas de construtibilidade, estimulados por projetos com poucas especificações ou problemas de compatibilidade, dentre outros fatores, como citam Almeida, Mesquita e Santos (2013), Nascimento (2012) e Hernandes (2017).

Visando dar agilidade nas obras necessárias a grandes eventos esportivos, surgiu uma nova modalidade de contrato de obras públicas chamada Regime Diferenciado de Contratações (RDC), no ano de 2011, consistindo em um modelo DB partindo do estudo preliminar ou projeto básico para a contratação, com o detalhamento posterior sendo realizado pelo contratado, ou seja, englobando projeto e execução. Ao longo dos anos, o RDC teve sua aplicação ampliada a mais tipos de obras públicas, dada a maior eficiência de contratação e maior liberdade aos agentes públicos e privados, no entanto, há desafios como o maior controle posterior à licitação, pois podem ocorrer desvios da proposta original dos estudos preliminares, sendo esperada a ocorrência de mudanças de projetos no decorrer do detalhamento, o que afeta prazos e orçamentos (BRASIL, 2011; CORRÊA; SILVA, 2016; PORTO, 2018). Em relação à construtibilidade, é positiva a integração projeto e execução, mas outros fatores importantes nesse formato de empreendimento advindo de RDC devem ser analisados.

Visando reduzir problemas de projeto que afetem a construtibilidade, várias pesquisas nacionais e internacionais apontam passos importantes como:

- Criação de um banco de dados com informações de execução de empreendimentos anteriores, tanto na área pública como privada, visando melhoria de projetos futuros (SILVA, 2018; TATUM, 2005).
- Promover o diálogo entre os diferentes envolvidos no processo de construção, incluindo os projetistas (FALOTICO, 2017). Para evitar problemas de compatibilidade entre projetos, que irão afetar a construtibilidade, é recomendado que esse diálogo seja comandado por um coordenador de projetos (BARBOSA, 2013; RODRIGUEZ; HEINECK, 2003; FONTES, 2012).
- Existência de projetos para produção (BARBOSA, 2013).
- Realização de avaliações pós-ocupação para verificar questões de construtibilidade a tratar futuramente, bem como melhoria da geração de valor ao cliente (GARSDEN, 1995).

- Geração de especificação com detalhamento adequado e suficiente à execução, devendo ser simples no entendimento do executor (ALMEIDA; MESQUITA; SANTOS, 2013; NOVAES, 1996).
- Disponibilização de prazos adequados ao desenvolvimento de projetos, a fim de que os projetistas não gerem detalhamento insuficiente para adequação ao período de tempo disponível (RODRIGUEZ; HEINECK, 2006).
- Inserção de princípios de Engenharia Simultânea, inclusive em obras públicas (ALMEIDA, 2013).
- Mesmo que seja desejado pelo profissional o trabalho na área de projetos, recomenda-se ou formação complementar, ou experiência prévia em execução, para a proposição de soluções com maior construtibilidade (SILVA, 2016).

Dentro das soluções listadas, a criação do banco de dados de informações sobre construtibilidade é apontada como importante ferramenta. Ela serviria tanto para fornecer retorno aos projetistas sobre os empreendimentos anteriores, como para consolidar os conhecimentos dos profissionais envolvidos e convertê-los da forma tácita (experiência pessoal) à forma explícita (documental) (GERTH *et al.*, 2013; KUO; WIUM; 2014; CORDEIRO, 2003).

2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Por fim, pode-se destacar os seguintes aspectos desse capítulo de fundamentação teórica, os quais foram aplicados no desenvolvimento da pesquisa:

- A construtibilidade é um conceito próximo ao de Engenharia Simultânea, onde ocorre a consideração dos aspectos de desenvolvimento de produto e produção de forma simultânea ou antecipada.
- Dentre as ferramentas existentes para a melhoria da construtibilidade, os sistemas de indicadores de construtibilidade permitem avaliação objetiva e são importante instrumento. Nesses sistemas, há indicadores com relevância estabelecida por um peso, compostos na formulação de um indicador

geral de construtibilidade. Podem ser feitas, portanto, avaliações individualizadas (característica avaliada pelo indicador) ou gerais (todo o produto ou o empreendimento).

- As avaliações de construtibilidade estão atreladas à etapa em que o empreendimento se encontra e quais etapas futuras irá considerar.
- Para mensurar a construtibilidade, podem ser utilizados dados quantitativos, como produtividade, e qualitativos, pois é envolvida experiência em construção.
- Não se pode desfazer alguns aspectos desfavoráveis à construtibilidade por completo, como a dissociação de atuação concomitante em projeto e execução pelo(s) mesmo(s) profissional(is), ou os formatos de licitação, mas mecanismos como o sistema de indicadores promovem subsídios para antecipação de detalhes relevantes para melhor construtibilidade.

Também se deve ressaltar que as avaliações de construtibilidade dependem do tipo de edifício (comercial, residencial, industrial, institucional, cultura e atividade religiosa, dentre outros), porte, padrão construtivo e objetivos da organização (governo, empresa construtora, dentre outros). Para edificações de padrão construtivo mais elevado, pode ser necessário avaliar opções que tenham maior construtibilidade e sejam condizentes com esse padrão.

3 MÉTODO

Segundo Silva e Menezes (2005), uma pesquisa é fundamentada e construída buscando a resolução de um problema. Visando melhor entendimento, descreve-se tal problema na forma de uma pergunta de pesquisa. Para este estudo, estabeleceu-se a seguinte pergunta de pesquisa, tendo como problema a busca da melhoria da construtibilidade de empreendimentos residenciais multifamiliares:

Como compor um sistema de indicadores destinado a avaliar empreendimentos residenciais multifamiliares brasileiros que considere a construtibilidade?

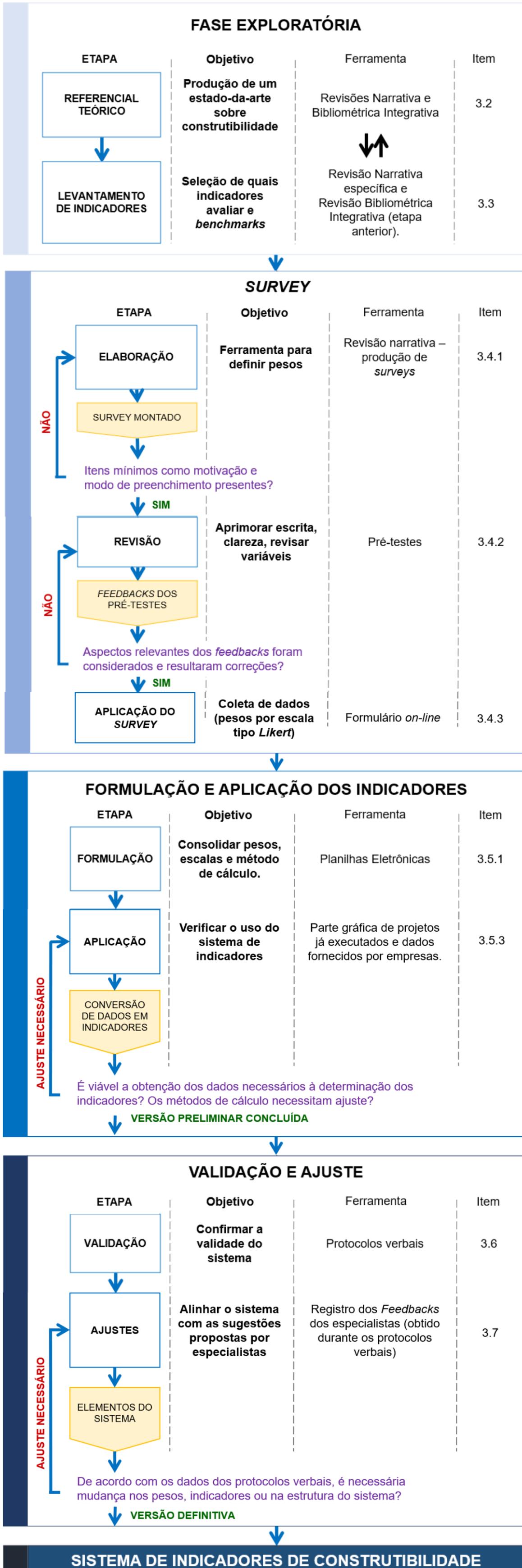
Neste capítulo, é apresentada a caracterização do objeto de estudo deste trabalho, bem como o método adotado em busca da resolução à pergunta de pesquisa. Em escala macro, ele é dividido em cinco fases principais, as quais serão detalhadas nos parágrafos e itens a seguir.

Na **fase exploratória**, buscou-se o entendimento do contexto atual dos estudos sobre construtibilidade e sua evolução, ferramentas possíveis para melhoria e a estrutura de sistemas de indicadores de construtibilidade. Após a fase exploratória, deu-se início à **fase de survey**, sucedida pela **fase de formulação e aplicação** do sistema de indicadores de construtibilidade, em sua versão preliminar (que já continha uma primeira definição de pesos e indicadores a adotar).

Finalizada a fase de formulação e aplicação, a pesquisa prosseguiu com a **fase de validação e ajuste**, buscando adequação do sistema, com a contribuição de especialistas. Por fim, o **sistema de indicadores** foi estruturado na forma de dissertação de mestrado, sendo apresentado e discutido no capítulo de Resultados.

Aspectos relacionados às fases e etapas do método serão explanados posteriormente. A Figura 6 resume todas essas fases e etapas, demonstrando objetivos, ferramentas e a sequência de realização das etapas do método.

Figura 6 – Etapas do Método de Pesquisa



3.1 CLASSIFICAÇÕES DESTA PESQUISA

Do ponto de vista das possíveis classificações existentes para pesquisas acadêmicas, esta dissertação se encaixa nas seguintes (Quadro 5): pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, explicativa, bibliográfica e de levantamento.

Quadro 5 – Classificações da pesquisa

Classificação		Justificativa
Quanto à Natureza	Pesquisa aplicada	Quanto à natureza, esta pesquisa se classifica como aplicada por envolver questões locais e a resolução prática de um problema específico, que é a melhoria da construtibilidade em empreendimentos de construção civil de residenciais multifamiliares padrão popular.
Abordagem do problema	Pesquisa quantitativa	Nessa pesquisa utiliza-se a manipulação de dados numéricos e o uso de conceitos estatísticos. Envolve-se características qualitativas como fatores que melhoram a construtibilidade, mas é alterada a abordagem de modo a gerar um sistema de indicadores
Do ponto de vista dos objetivos	Pesquisa Exploratória	Por buscar maior familiaridade com o problema com vistas a construir hipóteses ou torná-lo explícito. Envolve levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas com experiência com o problema pesquisado.
	Pesquisa Explicativa	Busca identificar fatores que contribuem para a ocorrência de certos fenômenos (nesta pesquisa, o que afeta e em que grau afeta a construtibilidade).
Quanto aos procedimentos técnicos	Pesquisa bibliográfica	Artigos, dissertações e teses publicados em meio eletrônico serviram de referência à pesquisa, na forma de revisão bibliométrica integrativa.
	Levantamento	Ocorre a interrogação direta de pessoas sobre o comportamento que se deseja conhecer

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Silva e Menezes (2005).

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Buscou-se estabelecer o estado-da-arte quanto à definição e formas de melhoria da construtibilidade, baseando-se no método de revisão bibliométrica integrativa proposto por Botelho, Cunha e Macedo (2011) e explanado no **Apêndice A**.

3.3 LEVANTAMENTO DE INDICADORES (DEFINIÇÃO PRELIMINAR)

Os princípios e conceitos de construtibilidade (CP e CC), bem como toda a revisão integrativa foram utilizados para a definição preliminar de indicadores para compor o sistema proposto. O artigo de Lam *et al.* (2007) propiciou, com adaptações, fundamentação teórica para essa etapa e para as etapas posteriores, indicando passos para a definição de indicadores (como a necessidade de coleta de dados com profissionais; estabelecer uma estrutura hierárquica de indicadores, que pode ser de acordo com os sistemas construtivos ou outro formato; definir os valores para opções relativas a um indicador (como tipos de telhados e seus níveis de construtibilidade, por exemplo) e submissão a profissionais de mercado como forma de validação).

Para tanto, foi construída uma planilha eletrônica (Apêndice B) contendo as seguintes colunas: (i) princípio ou conceito relacionado; (ii) nome do indicador proposto; (iii) onde medir; (iv) unidade da medida; (v) tipo de variável (quantitativa ou qualitativa *dummy*); (vi) justificativa para utilização; (vii) sentido numérico dos valores ideais (crescente ou decrescente, de forma similar ao proposto por Kannan e Santhi (2018)); (viii) *benchmarks* ou valores de referência – escalas de valores e (ix) referência bibliográfica (para indicadores já existentes em bibliografia).

Os indicadores propostos foram analisados nesta primeira etapa quanto à existência de pesquisas anteriores que propusessem valores, quadros ou formulação matemática para referência. Durante essa análise, observou-se sobreposições entre indicadores, como a quantidade de acabamentos e o indicador de utilização de mão de obra em vedações verticais, existente em bibliografia, cuja escala já considerava o nível de acabamento e complexidade.

Nesta etapa de levantamento ou em momentos posteriores da pesquisa, houve reanálise quanto aos indicadores propostos para a presente pesquisa. Ao final dessa etapa, obteve-se os indicadores listados de forma simplificada no **Apêndice B**.

3.4 SURVEY

3.4.1 Elaboração e questões

O *survey* foi produzido a fim de definir, a partir da visão de profissionais de arquitetura, engenharia e construção de todo o país, os pesos dos indicadores pré-selecionados na etapa anterior. Esses pesos indicam a relevância de cada indicador na composição de um indicador geral de construtibilidade. Para fins de pesquisa exploratória, também foram inclusas perguntas adicionais discursivas.

Na construção do questionário, estabeleceu-se dois grupos de informações relevantes:

- *Experiência dos entrevistados*: da mesma forma que Lam *et al.* (2007) e Kannan e Santhi (2018), buscou-se estabelecer qual o perfil dos respondentes em termos de sua experiência no ramo da construção civil de edificações, dedicando-se a isto as primeiras questões. Este não foi um critério de escolha de respondentes, mas para caracterização posterior.
- *Relevância e peso de indicadores*: cada indicador originou uma ou mais questões, com respostas discursivas ou uma escala discreta de valores de resposta, sendo o menor valor equivalente a irrelevante/pouco relevante a totalmente relevante para o valor máximo.

Os seguintes princípios de produção de *surveys* indicados por Freitas *et al.* (2000) foram considerados:

- Número limitado de perguntas.
- Redação de forma clara e precisa, levando a uma única interpretação e sem indução de resposta.
- Cabeçalho que indica claramente quem promove o *survey*, com qual objetivo e que garante a confidencialidade dos dados individuais.
- Instruções de preenchimento.
- *Layout* que favoreça o preenchimento.

3.4.2 Revisão

O *survey* em pré-teste foi disponibilizado *on-line* em: <https://www.engjpm.com.br/p/sistema-brasileiro-de-indicadores-de.html>⁵, antes de ser aplicado à amostra. Foi submetido a dois profissionais, uma engenheira civil e técnica em edificações, com atuação em revisão de projetos, execução e gerenciamento de obras em construtora florianopolitana, e um engenheiro de produção civil integrante do governo do estado de Santa Catarina, com ações na implementação e difusão de práticas em BIM em obras públicas.

Desse pré-teste, ocorreram algumas alterações de redação das questões e a mudança de escala de respostas. Previu-se estabelecer escalas de zero a dez, como feito por Kannan e Santhi (2018), entretanto, um dos respondentes de pré-teste relatou ser confuso responder com tanta variedade de opções. Até então, tinha-se uma escala que poderia ser considerada qualitativa (*Likert*) com dez opções, ou quantitativa discreta. Vieira e Dalmoro (2013) confirmam tal observação, apontando que, dentre as escalas “tipo *Likert*” existentes, a de cinco pontos direta é a que apresenta melhor precisão nos resultados, dentre outras opções com três, sete ou cinco pontos invertida (melhor condição atribuída ao menor valor).

Além dessas alterações, dada a quantidade de questões, decidiu-se fragmentar o *survey* em duas partes, como estratégia de facilitar a obtenção de respostas completas pela amostra. Abriu-se a possibilidade de resposta às duas versões, presentes no **Apêndice C**, as quais também foram disponibilizadas *on-line*.

3.4.3 Obtenção de respostas

3.4.3.1 Amostragem

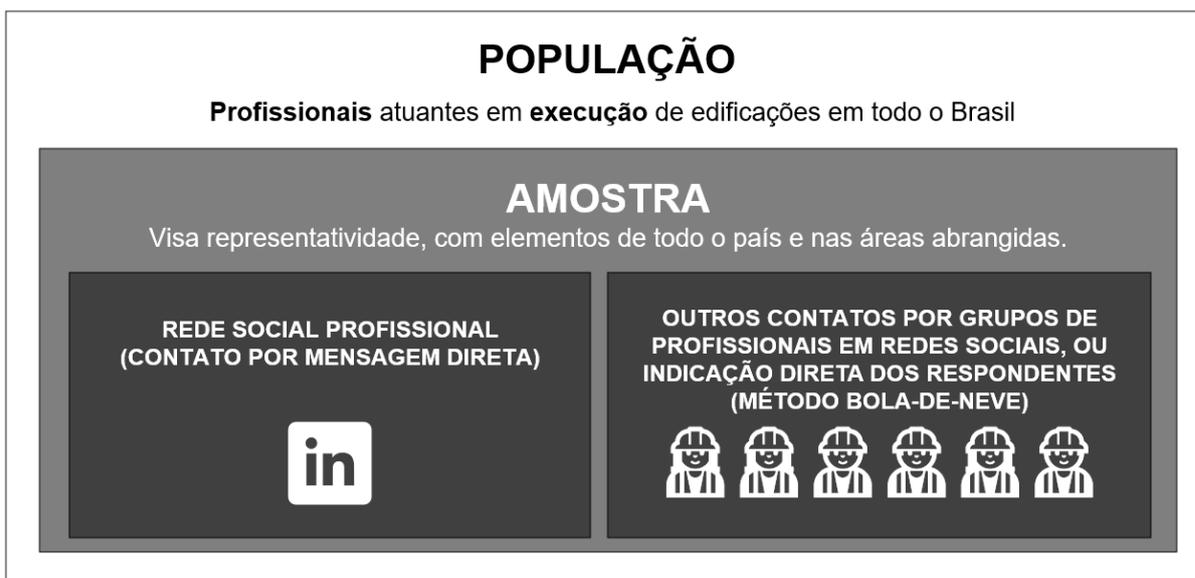
Partindo do conceito de construtibilidade, os respondentes deveriam ter, necessariamente, experiência com execução de edificações, a fim de que pudessem identificar adequadamente a relevância dos indicadores propostos. Também se estabele-

⁵ A página foi indisponibilizada posteriormente, para evitar o acréscimo de respostas após o fechamento da amostra.

ceu como característica da população que todos os profissionais possuísem formação técnica/tecnológica ou superior relacionada à execução de edificações, como arquitetos(as), engenheiros(as) civis ou de produção civil, dentre outros. A Figura 7 apresenta as principais características da amostragem realizada, as quais serão explanadas ao longo desse item.

O contato com os profissionais que compõem a amostra foi planejado para ocorrer por três fontes. A primeira consistiu na solicitação de dados de contato de associados aos Sinduscons brasileiros, sendo feita uma listagem de todas as unidades brasileiras e feitos contatos individualizados por *e-mail*. Segundo informado por algumas dessas unidades, não lhes era permitido fornecer contato de associados, o que impediu a obtenção de respondentes por essa via.

Figura 7 - Amostragem



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)⁶

A outra fonte (principal) de obtenção de contatos foi a rede social profissional LinkedIn[®], onde foram realizados contatos diretos com profissionais pertencentes à população por meio de mensagem privada. Estima-se o envio de cerca de quatro mil mensagens, cujo conteúdo consistia em vocativo personalizado, cabeçalho e *links* para resposta, apresentados em ordem aleatória entre as versões 01 e 02 do *survey*.

⁶ LinkedIn[®] é uma marca registrada LinkedIn Corporation.

O *survey* foi produzido considerando amostra não probabilística (não havendo critério de sorteio ou aleatoriedade em sua seleção, pois as respostas dependem do desejo espontâneo de contribuição) e do tipo bola-de-neve. Segundo Freitas *et al.* (2000), em amostragens bola-de-neve, participantes iniciais indicam novos participantes. O *survey* permitia indicar o contato de outro profissional, tendo sido enviados e-mails aos profissionais indicados e obtidas novas respostas.

O envio de solicitações e fechamento das páginas de questões ocorreu após a obtenção de número de respostas que permitisse validade estatística dos resultados. Até um limite de saturação, há tendência de que o aumento de respondentes propicie melhora dos resultados, aproximando-os dos valores esperados estatisticamente. Moscarola (1990) *apud* Freitas *et al.* (2000) apresenta valores de referência advindos da Lei dos Grandes Números. Segundo esse autor, com trinta respondentes ou menos, a chance de defasagem dos resultados é alta; com cem respostas a chance de alinhamento com a realidade aumenta consideravelmente e se tem resultados ainda melhores quando ultrapassados os trezentos respondentes.

Em função do cronograma de pesquisa, optou-se pela aproximação da marca de cem respondentes por versão do *survey*. Foram obtidas cem respostas válidas na Versão 01 e cento e seis na Versão 02, com **cento e cinquenta e seis respondentes únicos**, amostra que permite validade estatística nas análises realizadas.

3.4.3.2 Características dos respondentes

Dentre os respondentes, há profissionais da área de construção que atuam em todas as regiões do país, conforme indicado na Figura 8. Também é possível observar que a distribuição de respondentes segue, aproximadamente, a distribuição demográfica no território brasileiro apresentada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Quanto à distribuição por profissões, 75,48 % são engenheiros(as) civis, 10,32 % são arquitetos(as) e urbanistas, 7,74 % são engenheiros(as) de produção civil. Os demais 6,45 % são profissionais que atuam como auxiliares de engenharia, técnicos em edificações e outras funções.

Em relação à experiência dos profissionais entrevistados, quanto ao tempo de atuação, a grande maioria possui até nove anos de experiência (Figura 9). Sob o aspecto da área construída em que tenha acompanhado, 42,86 % atuaram em até 9.999 m² (Figura 10).

Figura 8 - Distribuição geográfica dos respondentes

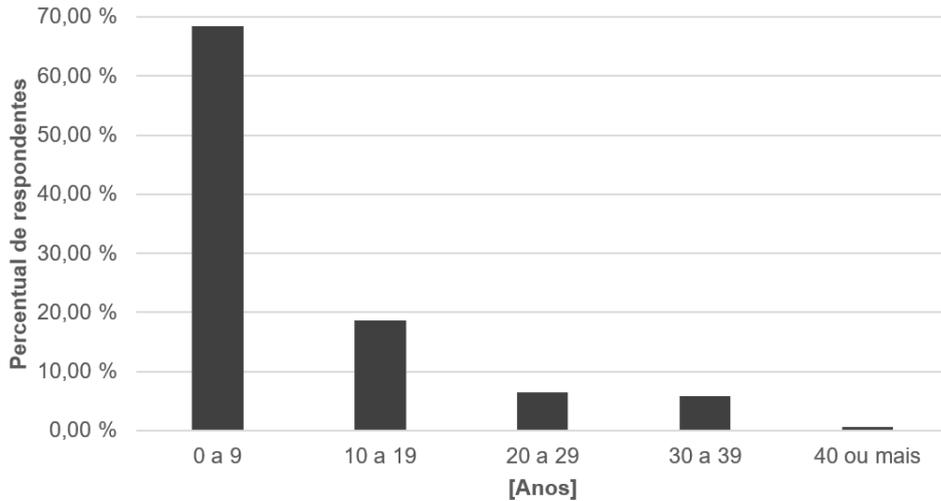


Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)⁷

Os dados de tempo de experiência se justificam pelo meio de contato com os profissionais. Existem pessoas de maior experiência profissional que utilizam rede social profissional, mas essa proporção é maior em profissionais mais jovens, tendendo a se equilibrar com o passar dos anos. Considerou-se pesar respostas por experiência dos respondentes, mas a relação “experiência - conhecimento em construção” pode não apresentar correlação por fatores qualitativos e trajetórias pessoais. Quanto às áreas construídas, levantou-se valores também para fins de conhecimento da amostra, mas existem fatores que influenciam os dados ao longo do tempo, como o porte das edificações no local de atuação, por exemplo.

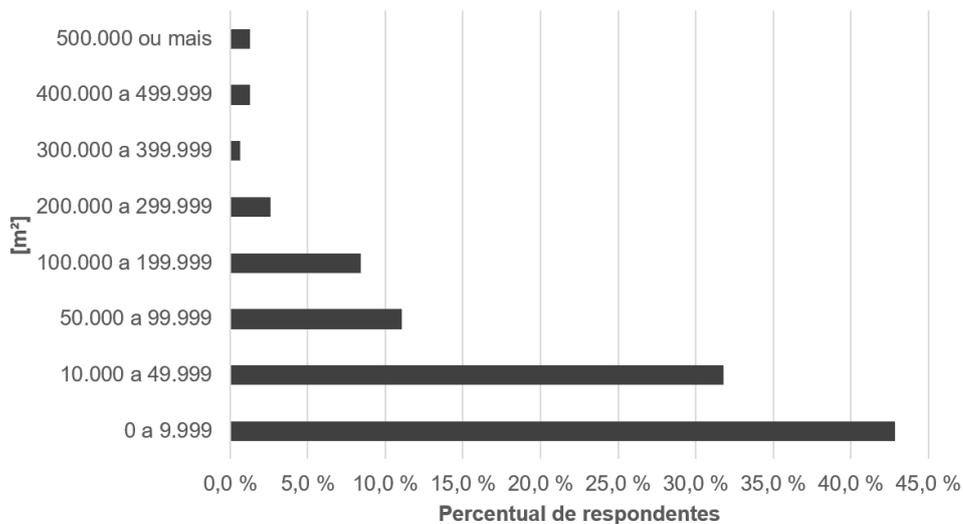
⁷ Utilizou-se como base as ferramentas do *software Google Earth Pro* e *Google My Maps*. O Norte Geográfico é voltado ao topo da folha.

Figura 9 - Tempo de atuação



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

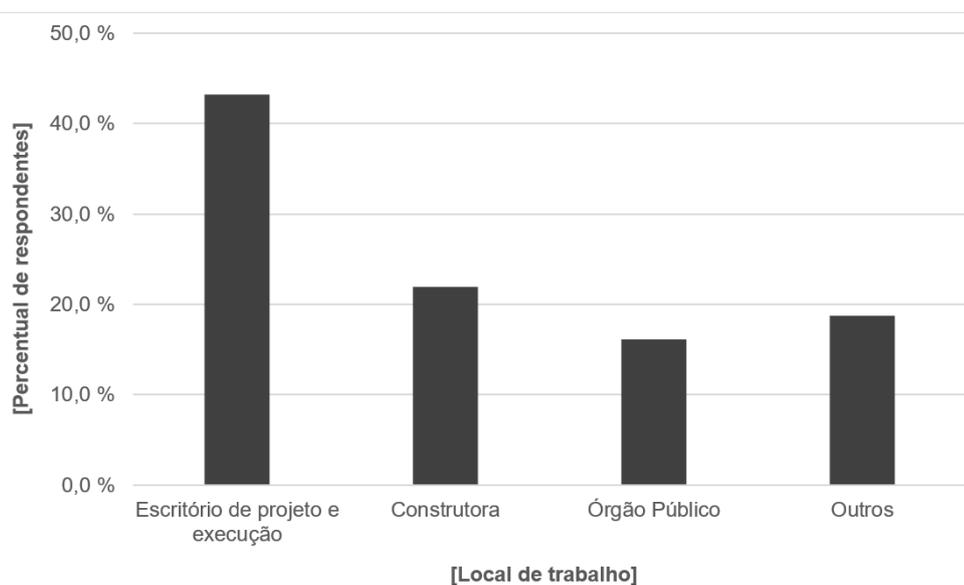
Figura 10 - Área construída acompanhada pelos respondentes



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Por fim, observa-se predominância de respondentes em escritórios que atuam em projetos e execução (Figura 11), seguidos por profissionais atuantes em construtoras. “Outros” corresponde a profissionais que não se enquadram nas demais categorias. Há empresas, como indústrias ou varejistas, que possuem equipes com profissionais que realizam manutenção predial e projetos de novas unidades, por exemplo.

Figura 11 - Locais de trabalho



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

3.5 FORMULAÇÃO E APLICAÇÃO

Nesta fase houve a etapa de formulação do sistema preliminar de indicadores de construtibilidade, advindo do levantamento preliminar (bibliográfico). Após, ocorreu a etapa de aplicação desse sistema levando-se em conta as informações de projeto e execução de três empreendimentos de construção de padrão e tipologia similares, mas produzidos com tecnologias construtivas distintas.

3.5.1 Definição de pesos para cada indicador

As respostas dos *surveys* foram consideradas como variáveis quantitativas discretas, associando-se o valor “1” a irrelevante/pouco relevante e “5” a totalmente relevante, dentro das opções “1”, “2”, “3”, “4” e “5”. Dessa forma, considerou-se a média aritmética das respostas, estimador não tendencioso, como peso para cada indicador. O Quadro 6 apresenta esses pesos.

Observados os pesos, verificou-se que o peso médio dado pelos respondentes indicou pouca diferença entre as modelagens CAD e BIM, o que não era um resultado esperado. Com os possíveis benefícios de uma modelagem BIM, acreditava-se que a

mesma ganharia melhor avaliação, dados os benefícios como a redução de incompatibilidades e modelagem por elementos construtivos, não por geométricos. Uma das possíveis justificativas estaria em vários escritórios de projeto e execução, ou mesmo construtoras, ainda trabalharem modelando em CAD (61,17 % dos respondentes do *survey*, parte 2).

Quadro 6 - Pesos para cada indicador (sistema preliminar)

Indicador	Média
Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias	3,55
Relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo	3,69
Distância dos fornecedores.	3,74
Uso de modelos em BIM.	3,85
Uso de CAD editável compartilhado.	3,89
Projetos para produção em CAD (essencial) ou como subproduto do BIM	3,90
Custo de transporte.	4,08
Área construída dos pavimentos-tipo em relação à área total construída	4,12
Uso de plataforma de nuvem	4,13
Qualidade na representação	4,18
Espaços para estoques.	4,20
Escala dos desenhos em pranchas de papel	4,22
Legibilidade de informações	4,29
Índice de repetição de esquadrias.	4,30
Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar	4,31
Projeto(s) de <i>layout</i> de canteiro	4,34
Índice de repetição de espessuras de lajes.	4,34
Dimensões das pranchas	4,35
Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas	4,40
Proteção ao fogo e acabamentos requeridos no sistema estrutural	4,44
Meio de transporte vertical	4,44
Índice de repetição de seções de pilares.	4,47
Uso de mão de obra no sistema estrutural	4,48
Coordenação de projetos.	4,51
Acesso para caminhões	4,61
Reuniões mensais de acompanhamento de obra.	4,63
Canteiro organizado e presença de equipamentos de proteção individual ou coletiva.	4,70

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

Nos maiores pesos, observa-se que os respondentes consideram um canteiro organizado – organização esta que lhe confira funcionalidade e evite interrupções nos fluxos de trabalho – como um item de grande relevância. Também foram considerados

importantes a realização de reuniões com o objetivo de avaliar o andamento do empreendimento e a disponibilidade de espaço para acesso e manobra dentro do canteiro – o que reflete a importância da disponibilidade de espaço em si como facilitador do processo executivo.

3.5.2 Consolidação de escalas e métodos de cálculo

Consolidados os pesos, buscou-se definir o formato preliminar do sistema de indicadores, promovendo revisões, inserindo critérios relevantes, removendo possíveis sobreposições ou mesmo sendo inseridos indicadores extras. Após, os indicadores foram organizados em categorias por etapa do ciclo-de-vida (*design* do produto, planejamento da produção e execução). O Quadro 7 apresenta algumas das modificações na versão preliminar do sistema de indicadores realizadas nessa etapa, em indicadores pertencentes a todas as categorias:

Quadro 7a – Etapa de formulação – consolidação dos indicadores

Indicador	Modificações no sistema de indicadores preliminar
Acesso para caminhões**	Considerou-se a disponibilidade de espaços para carga e descarga como forma de evitar autorizações para uso de via pública e permitir a redução de tempos auxiliares de transporte horizontal e vertical. Como critérios mínimos pontuados, definiu-se como ótimo o espaço para um caminhão cavalo eletrônico com carreta tandem triplo (cargas em geral) e intermediário um caminhão com eixo traseiro tandem duplo (caminhão betoneira), usando as dimensões padrão do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (BRASIL, 2006).
Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas*	Adotou-se os indicadores propostos por Singapura (2017), exceto o correspondente à alvenaria convencional, por envolver descontos (notas negativas) por política estatal do BCA. Estabeleceu-se a mesma pontuação dada à alvenaria estrutural contendo revestimentos.
Meio de transporte Vertical*	Foram critérios a capacidade de carga dos equipamentos utilizados para o transporte vertical em edificações para este indicador.
Padronização (método executivo), principalmente para elementos de baixa construtibilidade***	Os indicadores incluem padronizações arquitetônicas, mas outro ponto relevante é a padronização dos processos construtivos. A redução de variabilidades durante a execução, segundo Saffaro (2007) propicia a redução de incertezas quanto ao resultado. A existência de padronização executiva foi estabelecida como indicador qualitativo <i>dummy</i> .

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Legenda: [*] *Design* do produto; [**] Planejamento da Produção e [***] Execução.

Quadro 7b – Etapa de formulação – consolidação dos indicadores

Indicador	Modificações no sistema de indicadores preliminar
Relação entre perímetro externo e área construída do pavimento*	O quadrado foi definido como forma geométrica ótima entre área e perímetro, considerando aspectos construtivos, diferentemente de Mascaró (2004). O indicador consiste no resultado de uma fórmula que compara o perímetro do pavimento-tipo da edificação com seu “perímetro-ótimo” considerando sua área. Tabelou-se um valor para plantas circulares.
Dimensões das pranchas (se em papel)*	Na revisão narrativa, não se observaram estudos que apontem relações entre dimensões e facilidade de uso de pranchas de papel, apontando valores mínimos, entretanto, é trivial a consideração que menores peças sejam de manuseio mais fácil e melhor visão de todo o conteúdo. Definiu-se como tamanho ideal a menor prancha padronizada ABNT capaz de acomodar em escala 1:50 (usual em projetos de arquitetura) o terreno mínimo nacional com 125 m ² (PROCON-SP, 2019), ou seja, o padrão A2 (ABNT, 1994).
Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)*	Foram adotados os índices propostos por Singapura (2017), com melhorias no método de cálculo. Os índices existentes para estruturas de concreto armado não consideravam a variabilidade de produtividade segundo os serviços de formas, armação e concretagem, mesmo sendo elevada, segundo apontam Dantas (2006) e Damião (2019). Para isso, definiu-se um fator k que engloba todas as condições de produção das estruturas de concreto armado moldado <i>in loco</i> . Singapura (2017) não considera alvenaria como sistema estrutural, possuindo índice de mão de obra para o indicador de vedação vertical. Definiu-se a forma básica (sem acabamentos) do indicador equivalente em mão de obra de vedação vertical como sendo o indicador de mão de obra do sistema estrutural.
Índice de repetição de seções de pilares*	Dentro das padronizações geométricas possíveis, verificou-se os sistemas de avaliação propostos por Narloch (2015) e Singapura (2017), sendo que o primeiro penaliza a existência de duas ou mais seções transversais, condição possível em projetos estruturais – com duas seções transversais, a pontuação de construtibilidade cai a 50 %. Dessa forma, considerou-se também o proposto por Singapura (2017), onde se avalia o percentual de participação dos três elementos mais representativos. Esse indicador não deve ser considerado em sistemas estruturais onde não houver pilares, zerando-se seu peso.
Banco de dados sobre Construtibilidade*	Silva (2018) realizou a construção de uma ferramenta para elaboração de um banco de dados sobre construtibilidade, e aponta que, em busca de melhoria da construtibilidade, as ferramentas de banco de dados e sistemas de indicadores podem ser utilizadas, de forma mais efetiva, em conjunto. Os bancos de dados, ainda segundo esse autor, podem ser gerados por mecanismos de registro como formulários, ou como parte de reuniões entre equipes de execução. A existência de banco de dados sobre construtibilidade foi estabelecida como indicador qualitativo <i>dummy</i> .

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

Legenda: [*] Design do produto; [**] Planejamento da Produção e [***] Execução.

O indicador “*Relação entre perímetro externo e área construída do pavimento*” foi elaborado considerando os formatos ótimos para construção. Por meio de revisão narrativa, observou-se que Mascaró (2004) apresenta indicadores para otimização de

planta baixa, observando questões como custo e complexidade, onde indica que as vedações de fachada apresentam menor construtibilidade, devendo ser reduzidas.

Mascaró (2004) indica que as formas ótimas de edificações tenderiam ao cilindro e, depois, ao cubo - por mais que não sejam regras a ser efetivamente utilizadas, seriam uma referência básica de forma. Em termos de planta baixa, a figura ótima seria o círculo, passando pelo quadrado e indo ao caso limite de um retângulo extremamente alongado e, seguindo esse raciocínio, esse autor construiu um quadro com indicadores.

Na escala estabelecida por Mascaró (2004), não se estaria considerando a forma ótima construtiva como maior indicador, visto que os elementos construtivos tendem à reticulação. Dessa forma, o quadrado seria a forma ótima em planta.

Assim, foi definido um indicador para esta pesquisa, com valor ótimo associado ao quadrado, por formulação comparando área e perímetro. Adotou-se nota para plantas circulares considerando a circunferência e a área de um quadrado inscrito, penalizando o formato.

No indicador “*Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)*”, o fator k foi criado para considerar os serviços de formas, armação e concretagem. Em sua definição, utilizou-se o quadro de grupamento de esforços apresentado por Souza *et al.* (2008) *apud* Marchiori (2009) (Quadro 8) para desmembrar as participações por serviço e por elementos estruturais, as composições do SINAPI (CAIXA, 2019) e a consideração de um ganho de 30 % de produtividade da mão de obra de armação no uso de aço pré-cortado e pré-dobrado, segundo Araújo (2000).

Quadro 8 - Contribuições percentuais por serviços e elementos nas estruturas de concreto armado

Serviço	1 m ³ de estrutura	1 m ² de piso	Percentuais de contribuição nas unidades das composições desdobradas Formas por [m ²], armaduras em [kg], concretagem em [m ³]			
			Elemento estrutural			
			Pilar	Viga	Laje	Escada
Formas	9,01 m ²	2,17 m ²	33,00 %	22,00 %	43,00 %	2,00 %
Armação	91,68 kg	22,69 kg	33,00 %	24,00 %	41,00 %	2,00 %
Concretagem	1,00 m ³	0,24 m ³	22,40 %	77,60 %		

Fonte: Souza *et al.* (2008) *apud* Marchiori (2009)

As produtividades de mão de obra do SINAPI (razões unitárias de produção (RUPs) das equipes diretas) definiram indicadores tabelados para pilares, vigas, lajes

e escadas (individualmente ou em grupo), para os serviços de execução de formas, armação e concretagem. Por elemento estrutural e serviço, definiu-se uma escala de RUPs, segundo a equação (3):

$$I_{\text{elemento/serviço}} = P_{\text{elemento/serviço}} \cdot (RUP_{\text{mínima}} / RUP_{\text{categoria } i}) \quad (3)$$

Sendo:

- $I_{\text{elemento/serviço}}$ = indicador de construtibilidade do elemento estrutural para um serviço.
- $P_{\text{elemento/serviço}}$ = percentual de participação do elemento estrutural naquele serviço (Quadro 8).
- $RUP_{\text{mínima}}$ = menor RUP possível para a execução do elemento estrutural, para o serviço considerado, presente no SINAPI.
- $RUP_{\text{categoria } i}$ = RUP correspondente a uma categoria i de método executivo presente no SINAPI.

Por fim, o fator k foi definido como a equação (4):

$$k = 0,44 \cdot \sum I_{\text{elemento/formas}} + 0,33 \cdot \sum I_{\text{elemento/concretagem}} + 0,23 \cdot \sum I_{\text{elemento/armação}} \quad (4)$$

Os coeficientes 0,44, 0,33 e 0,23 foram definidos por meio da proporção de consumos de mão de obra entre os serviços. RUPs medianas de execução de formas e armação foram obtidas em Araújo (2000) e de concretagem da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2017), sendo convertidas à unidade Hh/m³ por meio dos valores do Quadro 8.⁸

Para o indicador de meio de transporte vertical, foram consideradas as opções de grua, elevador de carga e guincho, sendo realizada a ponderação por meio de dados constantes em Souza e Franco (1997), para a capacidade de carga desses meios. A grua, por possuir a maior capacidade de carga para tempos de ciclo de

⁸ A conversão se fez necessária para a unificação de unidades na composição do fator. Execução de formas possui RUP em Hh/m², armação em Hh/kg e concretagem em Hh/m³.

carga/descarga similares, foi considerada como referência, assumindo indicador de construtibilidade “1,00”. Os demais meios receberam notas proporcionais, estabelecidas pela equação (5), exceto o uso de roldana manual que, pelo uso intensivo de mão de obra e baixa produtividade, teve seu indicador assumido como “0,00”.

$$I_{\text{meio vertical}} = \sum (C_{\text{meio vertical, } i} / C_{\text{referência, } i}) / m \quad (5)$$

Sendo:

- $I_{\text{meio vertical}}$ = indicador de construtibilidade correspondente ao meio de transporte vertical.
- $C_{\text{meio vertical, } i}$ = capacidade de carga do meio de transporte vertical, para uma dada carga i , em um ciclo de carga/descarga.
- $C_{\text{referência, } i}$ = capacidade de carga da grua (referência) para uma dada carga i , em um ciclo de carga/descarga.
- m = número de dados de capacidade de carga analisado nesta média.

A padronização de esquadrias segue raciocínio semelhante ao indicador para pilares, apresentado no Quadro 8, com valores associados aos percentuais das três tipologias mais frequentes. Além deles, considerou-se os padrões em lajes e repetição de pavimentos-tipo, por proporção do elemento mais representativo.

Além da padronização de elementos construtivos, a existência da padronização de processos executivos indicada por Saffaro (2007) e de um banco de dados de construtibilidade defendida por Silva (2018) foram inseridas posteriormente ao *survey* e definição de pesos, dada a relevância como ferramentas de apoio à melhoria da construtibilidade, e não haver indicadores semelhantes que abrangessem essas ferramentas. Dessa forma, foram inseridos como indicadores complementares de peso “2,50”, somando o peso “5,00”, equivalente ao máximo peso possível de todos os indicadores *pré-survey*.

Saffaro (2007) propõe a utilização de prototipagem dentro da padronização de métodos executivos. Essa padronização ocorreria com efeitos diversos, de acordo com o grau de complexidade do serviço a ser executado e, por isso, é ressaltada pelo indicador a padronização nas situações de baixa construtibilidade, como armaduras mais densas, menores tolerâncias dimensionais, detalhes inusitados, dentre outras (considerada escala de análise de construtibilidade mais detalhada). Para serviços mais simples, tais como assentamento de bloco cerâmico, poucos fatores randômicos afetariam o serviço, sendo menores os benefícios da padronização executiva, mas ainda assim existentes.

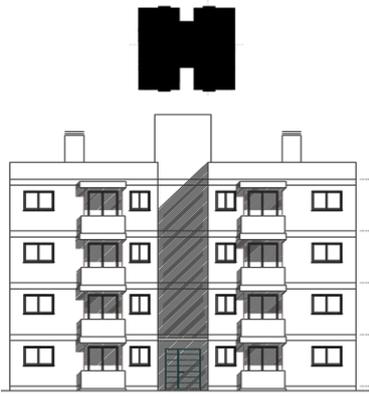
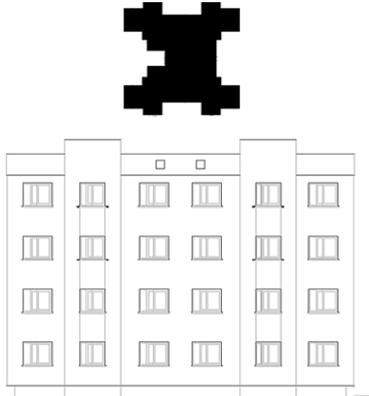
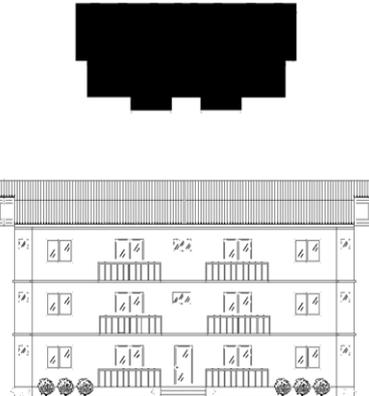
3.5.3 Aplicação do sistema para empreendimentos concluídos

Ao final da formulação do sistema de indicadores, o mesmo foi aplicado utilizando informações (como quantitativos de serviço e dados relativos a organização e gestão do canteiro) de três projetos de condomínios residenciais multifamiliares advindos de duas empresas construtoras, a serem chamadas nesta dissertação de empresa A (forneceu o Projeto 01) e empresa B (forneceu os Projetos 02 e 03).

3.5.3.1 Empreendimentos avaliados

As características dos empreendimentos avaliados são sintetizadas no Quadro 9. As imagens apresentadas nesse quadro foram extraídas pelo autor dos arquivos disponibilizados, contendo as elevações dos blocos residenciais e a respectiva planta baixa simplificada, advindos dos acervos das empresas A e B.

Quadro 9 – Empreendimentos avaliados pelo sistema de indicadores

Empreendimento	Características
	<ul style="list-style-type: none"> Área construída: 7.168,08 m² (total), 1.101,78 m² (por bloco). Município: Vacaria/RS. Ano de execução – 2019. Sistema construtivo: concreto armado convencional concretado <i>in loco</i> com alvenaria de bloco cerâmico (vedação). Outras características relevantes: empreendimento residencial contendo um bloco com a possibilidade de planta alternativa para atendimento a pessoas com necessidades especiais.
	<ul style="list-style-type: none"> Área construída: 13.537,01 m² (total), 799,40 m² (por bloco). Município: Biguaçu/SC. Ano de execução – 2010. Sistema construtivo: alvenaria estrutural em bloco de concreto. Outras características relevantes: empreendimento misto contendo <i>strip center</i> (contendo nove lojas), dezesseis blocos residenciais, área de lazer com quiosques e quadra poliesportiva e vagas de estacionamento descobertas.
	<ul style="list-style-type: none"> Área construída: ≈ 5.000 m² (total), 408,58 m² (por bloco). Município: Blumenau/SC. Ano de entrega – 2002. Sistema construtivo: paredes estruturais em concreto armado. Outras características relevantes: condomínio constituído por doze blocos residenciais e salão de festas. Todas as edificações não dispõem de platibandas, mas telhados protetores com estruturas e revestimento de madeira (nos oitões), telhas cerâmicas.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

3.5.3.2 Avaliações obtidas com o sistema de indicadores preliminar

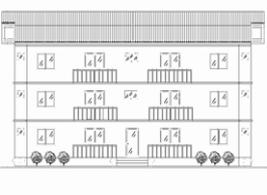
Todas as informações necessárias ao cálculo dos indicadores de construtibilidade do sistema preliminar foram obtidas por duas fontes:

- Leitura de informações em arquivos de projeto como modelos CAD e outros, pelo autor.
- Contato com a(s) empresa(s) construtora(s) e/ou profissional(is) que acompanharam a execução dos empreendimentos, de forma a complementar as informações faltantes e serem obtidos os valores para todos os indicadores.

Com todas as informações levantadas, os indicadores foram calculados individualmente e agrupados para cada empreendimento, em seu valor para todo o projeto, de *design* do produto (como “padronização de esquadrias” ou “relação área/perímetro”), planejamento da produção (como “existência de projeto de *layout* de canteiro”) e relacionados à execução (como “reuniões mensais” de acompanhamento). Os indicadores gerais de construtibilidade obtidos nessa etapa estão presentes no Quadro 10, com método de cálculo de acordo com o item 4.6.1.

Observados os resultados parciais da aplicação do sistema de indicadores (Quadro 10), verifica-se a presença de indicadores maiores para os empreendimentos relacionados à alvenaria estrutural e às paredes de concreto armado, em relação àqueles observados no condomínio em estrutura reticulada de concreto armado convencional. Entretanto, considerada a escala de 0 a 100 %, é pequena a diferença observada entre os três indicadores gerais de construtibilidade.

Quadro 10 - Indicadores de construtibilidade, considerando o sistema de indicadores preliminar

Empreendimento		Nota [%]	
	Estrutura em Concreto Armado	Indicador geral de construtibilidade	68,40
		Nota dos indicadores de <i>design</i> do produto	71,79
		Nota dos indicadores de planejamento da produção	61,01
		Nota dos indicadores relacionados à execução	100,00
	Alvenaria Estrutural	Indicador geral de construtibilidade	69,38
		Nota dos indicadores de <i>design</i> do produto	75,49
		Nota dos indicadores de planejamento da produção	61,01
		Nota dos indicadores relacionados à execução	100,00
	Parede em Concreto Armado	Indicador geral de construtibilidade	69,51
		Nota dos indicadores de <i>design</i> do produto	69,15
		Nota dos indicadores de planejamento da produção	81,56
		Nota dos indicadores relacionados à execução	100,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

3.6 VALIDAÇÃO

Na fase de validação e ajuste do sistema, a etapa de validação foi realizada com o objetivo de verificar aspectos de estrutura, indicadores, pesos e resultados gerados, submetendo o sistema preliminar de indicadores de construtibilidade a especialistas, a fim de definir sua versão definitiva. A validação ocorreu pelo uso de protocolos verbais como o *Thinking Aloud*.

3.6.1 *Thinking Aloud* e outros protocolos verbais

O *Thinking Aloud* e outros protocolos verbais são ferramentas para avaliação de produtos e protótipos, quando em desenvolvimento, onde um potencial usuário apresenta suas opiniões quando em contato com o elemento a avaliar (DOS REIS; MAURI, 2012). A validação do sistema preliminar de indicadores utilizou os protocolos do Quadro 11.

Esses protocolos foram utilizados em videochamadas com especialistas, onde foram realizadas perguntas e os mesmos acompanharam um roteiro de apresentação do sistema preliminar de indicadores de construtibilidade, presente no **Apêndice D**. O arquivo do roteiro foi enviado previamente à chamada. Ao longo dessa chamada, realizou-se registro em meio eletrônico dos *feedbacks* fornecidos.

Quadro 11 – Protocolos verbais utilizados na validação do sistema preliminar

Protocolo	Descrição
<i>Thinking Aloud</i>	Relatos são realizados verbalmente pelo potencial usuário ou especialista durante o contato ou realização de uma tarefa.
<i>Prompting</i>	Durante o contato ou realização da tarefa, o pesquisador realiza interrupções e faz perguntas, podendo lembrar pontos relevantes.
Diálogo	No decorrer da pesquisa, o sujeito e o pesquisador dialogam sobre a temática da pesquisa

Fonte: Adaptado de Duarte e Korelo (2017).

3.6.2 Aspectos avaliados

Durante a elaboração do roteiro de apresentação (do sistema de indicadores pelo pesquisador aos especialistas entrevistados), foram estabelecidos aspectos a avaliar por meio dos protocolos verbais a serem apresentados aos especialistas. Esses aspectos partem dos elementos essenciais até o sistema como um todo:

- *Adequação de indicadores*: após apresentar o conceito de construtibilidade, verificou-se com os especialistas, baseando-se em suas experiências profissionais, a adequação dos indicadores propostos para a “medição” da construtibilidade.
- *Pesos adequados aos indicadores*: os especialistas puderam observar os pesos preliminares e indicar se acreditavam estar condizentes com a relevância de cada indicador, propondo alterações se necessárias.
- *Avaliações obtidas pelo sistema*: apresentou-se os indicadores calculados para cada empreendimento e seu comparativo. Por meio desse comparativo, indicou-se qual o alinhamento com as expectativas dos participantes, considerando as tipologias construtivas avaliadas.
- *Elementos que poderiam ser acrescidos ou alterações*: conhecidos todos os aspectos do sistema, abriu-se novo espaço para sugestões e colaborações.

Adotou-se o mesmo formato de protocolos verbais a todos os especialistas participantes. Apesar de que houvesse abertura, a todo momento, para colaborações, decidiu-se estimular a participação e obtenção de *feedbacks* com um item próprio para este fim.

3.6.3 Perfil dos especialistas

Os especialistas participantes da fase de validação e ajuste possuem o perfil profissional apresentado no Quadro 12. Cada especialista será identificado pelas iniciais de seu nome.

Quadro 12 – Perfil dos especialistas

Especialista	Perfil Profissional
ACF	Engenheiro(a) civil e Mestre(a) em Engenharia Civil. Atua profissionalmente desde 1997, tendo assumido os cargos de Engenheiro(a) de Obras (execução), Gerência de Orçamento e Planejamento e Gerência de Engenharia, em empresas que executam edificações habitacionais nas três tipologias avaliadas no presente trabalho. Em seu cargo atual, é gerente de obras de curta duração de empreendimentos de rede de atacarejo supermercadista.
AMB	Engenheiro(a) civil e Mestre(a) em Engenharia Civil. Seu <i>know-how</i> envolve materiais e processos construtivos, bem como as manifestações patológicas e desempenho requerido de sistemas construtivos existentes. Sua atividade profissional corrente é como consultor autônomo na área de patologia e custos.
ELS	Engenheiro(a) Civil, com especialização em gestão de obras e dez anos de experiência profissional. Começou como estagiário(a) na Caixa Econômica Federal e, após graduado(a), como Engenheiro Civil responsável por planejamento e controle de recursos de obras industriais, comerciais e de incorporação com experiência na execução dos três sistemas construtivos estudados.
LC	Engenheiro(a) Civil. Possui mais de treze anos de experiência profissional. Participou de atividades como inspeção e gestão da qualidade em execução, planejamento de obra e gestão de indicadores em obras que continham os três sistemas construtivos estudados. Faz parte, atualmente, do setor de Engenharia de cooperativa agrícola.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Todos os participantes descritos no Quadro 12 possuíam experiência com as tipologias construtivas (concreto armado, alvenaria estrutural e paredes de concreto). Essa experiência ocorreu durante elaboração de *design* de produtos, execução e/ou pós-obra.

3.7 AJUSTE DO SISTEMA

3.7.1 Contribuições e mudanças propostas

O Quadro 13 apresenta as contribuições feitas pelos participantes:

Quadro 13 – Contribuições dos especialistas

Especialista	Contribuições e mudanças propostas
ACF	<ul style="list-style-type: none"> Indicar que o projeto para produção é ainda mais importante quando se trata de modelagens em CAD, por serem menos precisas, predominantemente geométricas e limitadas. Nas modelagens BIM, acredita que seja mais simples gerar os detalhes necessários e confeccionar esse tipo de projeto. Sugeriu inserir placas cimentícias nas vedações verticais, com valor equivalente ao <i>drywall</i> em gesso. Aponta ser necessário indicar nas descrições de indicadores que a disponibilidade de espaço para veículos de serviço e os <i>layouts</i> de canteiro projetados devem considerar a dinâmica de evolução da obra. Espaço e organização são desejáveis, mas não precisam ser fixos durante toda a execução.
AMB	<ul style="list-style-type: none"> Considera penalização excessiva atribuir nota zero no indicador de presença de elementos curvos quando ocorrer, pois, segundo o especialista, a mesma agregaria valor estético ao imóvel. Com isso, propôs peso menor ao indicador relativo. Sugeriu definir avaliação para cobertura considerando terraço (laje aberta) no indicador de demanda de mão de obra para sistemas estruturais. Indicou ser necessário definir o que seria “organização”, indicando que esse adjetivo se refere a canteiros funcionais e que elementos necessários em um posto de serviço não gerem interferência nos demais. Essa definição permitiria melhor compreensão do que o indicador se trata. Considerar pré-fabricação em escadas nos indicadores.
ELS	<ul style="list-style-type: none"> Diminuiria o peso relativo à modelagem CAD em relação àquele atribuído para BIM, dada a diferença de qualidade e produtividade entre modelagens. Ficou em dúvida sobre o que poderia ser classificado como projeto para produção, sugerindo, dessa forma, que se apresente definição clara no sistema de indicadores.
LC	<ul style="list-style-type: none"> Não fazer indicadores <i>dummy</i> separados para modelagens distintas, mas um só atribuindo notas diferentes a CAD e BIM. Ficou em dúvida sobre o que poderia ser classificado como projeto para produção, sugerindo, dessa forma, que se apresente definição clara no sistema de indicadores, após exemplificação sobre plantas de primeira e segunda fiadas ou paginação de revestimentos. Acredita que, dentre as vedações verticais possíveis, a pontuação atribuída à alvenaria convencional deveria ser reduzida. Dentro do indicador de mão de obra no sistema estrutural, também apresentou a expectativa de que houvesse pontuações maiores para alvenaria estrutural do que estruturas de concreto armado. União dos indicadores de representação gráfica em um único, com parcelas desdobradas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Todas as contribuições foram analisadas e, em sua maioria, resultaram em ajustes no sistema. Duas indicações de melhoria, no entanto, possuem ressalvas:

- *Escadas pré-fabricadas*: a utilização de escadas pré-fabricadas, como toda a sorte de pré-fabricações, contribui para a melhoria da construtibilidade, entretanto, é pequena a participação de escadas no volume de estruturas, conforme apresentou o Quadro 8. Defende-se escadas pré-fabricadas como elemento que facilita o acesso ao novo pavimento a executar em uma construção, mas essa facilidade pode não existir em caso de atraso na entrega desse elemento ou falta de estrutura que o apoie. Destarte, optou-se por considerar que se utilizam escadas pré-fabricadas como parte das estruturas dessa categoria.
- *Demanda de mão de obra para estruturas de concreto armado*: havia pontuação para estruturas de concreto armado nos indicadores de Singapura (2017) e, durante a elaboração do sistema preliminar, foram trazidos os indicadores de uso de mão de obra de alvenaria estrutural como vedações para a classificação estrutural, pois eram de mesma natureza. Nessa inserção, o(a) especialista LC questionou o fato de a nota mínima das estruturas de concreto armado (“0,45”) ainda ser superior à de alvenaria estrutural (“0,30”); todavia, a inserção do “fator k” (“0,45k”) auxiliou na redução das notas dadas às estruturas de concreto armado, ao considerar mais aspectos relacionados à execução dessas estruturas.

Em relação às mudanças efetivadas, a primeira foi a criação de um indicador de modelagem. Nesse indicador, considerou-se BIM como modelagem ótima e CAD editável compartilhado como situação inferior. Para atribuir a nota ao CAD, considerou-se as diferenças de produtividade existentes entre as modelagens, levantadas por Nunes e Leão (2018), com projetos 21 % mais ágeis e rentáveis sendo modelados em BIM. Assim, utilizou-se a equação (6):

$$I_{CAD} = I_{BIM} / (1 + \rho) \quad (6)$$

Onde:

- I_{CAD} = construtibilidade atribuída à modelagem em CAD.
- I_{BIM} = modelagem ótima, recebendo indicador de construtibilidade “1,00”.
- ρ = percentual de melhoria promovido pela adoção do BIM em relação ao CAD.

A substituição dos indicadores de modelagem CAD e BIM de forma individualizada (dois indicadores *dummy*) por um único indicador corrigiu duas distorções. Uma dessas distorções, não detectada anteriormente, era de que seria necessário, pela estrutura do sistema, que se modelasse os produtos nos dois formatos para a obtenção da avaliação máxima. A outra era de ser praticamente indistinta a diferença de pesos entre um e outro formato até então.

Os indicadores de representação gráfica foram unidos em um único indicador, com parcelas, incorporado no indicador “qualidade na representação”. Esta mudança permitiu manter os elementos de transmissão gráfica de informações contemplados, mas reduzir sua participação no indicador geral de construtibilidade, trazendo maior equilíbrio, segundo os especialistas.

Quanto aos pesos dos indicadores, os especialistas AMB, ELS e LC apresentaram quais valores deveriam ser adotados.⁹ Com essas informações, definiu-se os pesos definitivos do sistema de indicadores de construtibilidade, por meio da equação (7):

$$P_{\text{definitivo}} = [P_{\text{preliminar}} + \sum (P_{\text{especialista, i}})] / (n + 1) \quad (7)$$

Onde:

- $P_{\text{definitivo}}$ = peso definitivo do indicador de construtibilidade.
- $P_{\text{preliminar}}$ = peso preliminar obtido com os *surveys*.

⁹ O(a) especialista ACF não pode realizar a avaliação por não dispor de computador no momento dos protocolos verbais, sendo a comunicação realizada em encaixe de horário, pouco antes de entrar em período de férias da empresa onde atua.

- $P_{\text{especialista}, i}$ = peso dado por um(a) especialista i de n especialistas.

Nesse ajuste, considerou-se os participantes do *survey* equivalentes a um especialista. A formulação da equação (7) atribuiu maior relevância aos pesos dados pelos especialistas pelo fato de os mesmos possuírem conhecimento mais amplo sobre o sistema de indicadores proposto do que os respondentes do *survey*, tendo sido apresentados ao sistema detalhadamente.

Finalizados os ajustes, o sistema de indicadores foi consolidado em sua forma definitiva. Após, os empreendimentos anteriormente avaliados pelo sistema preliminar foram novamente avaliados, considerando a versão definitiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados, primeiramente, os aspectos qualitativos relacionados ao sistema de indicadores de construtibilidade. Posteriormente, é exposto e discutido o método de cálculo de cada um dos indicadores e do indicador geral de construtibilidade.

4.1 COMENTÁRIOS QUALITATIVOS REALIZADOS POR PROFISSIONAIS NO SURVEY E NOS PROTOCOLOS VERBAIS

Os comentários qualitativos foram requisitados no *survey* por ser considerada a importância dessas contribuições e o conceito de construtibilidade, baseados na experiência dos profissionais de construção. Além destes, também estão registrados os comentários levantados ao longo do diálogo com os especialistas. No Quadro 14, são apresentados tais comentários com a respectiva discussão e reflexos no sistema de indicadores.

Quadro 14a – Comentários e contribuições qualitativas discutidas.

Comentário(s) dos profissionais (*) e especialistas (**)	Discussão
1) “A questão do descarte de resíduos da obra.” (*) 2) “Considerar aspectos de sustentabilidade a obra, materiais, tecnologias, técnicas construtivas...” (*)	Conforme apresentado na delimitação do trabalho, pela falta de dados, optou-se por não considerar aspectos de demolição. Em contraponto, tecnologias mais eficientes e melhor pontuadas pelo sistema de indicadores proposto geram menor volume de resíduos.
3) “Rastreabilidade na construção civil” (*)	A rastreabilidade é um elemento importante nas construções, a fim de que se identifique possíveis fontes de eventuais problemas construtivos, como regiões de concretagem. Porém, não se observou relação clara entre construtibilidade e rastreabilidade, nem no decorrer desta pesquisa, nem em revisão, de modo que não se inseriu indicador relacionado.

Quadro 14b – Comentários e contribuições qualitativas discutidas.

Comentário(s) dos profissionais (*) e especialistas (**)	Discussão
<p>4) “Repetições de materiais e processos construtivos são totalmente relevantes quando se trata de um contrato, para que não fique desprotonizado, irrelevante quando se trata de um contrato para outro, podendo assim mudar para melhoria ou economia.” (*)</p>	<p>As avaliações de construtibilidade foram produzidas considerando um único empreendimento de construção por vez. Dentro das descrições qualitativas constantes no sistema de indicadores, optou-se por não realizar indicações sobre novos empreendimentos, visto que a realização de novos projetos com mesma tecnologia construtiva permite ganhos de produtividade, mas a adoção de uma nova tecnologia pode trazer outros ganhos, desde que estudada e considerados os requisitos técnicos.</p>
<p>5) “Metodologia de locação dos elementos da obra (fundações, estruturas, passagens de instalações). Gestão do conhecimento dentro da obra, possibilitando maior captura, transformação e disseminação do conhecimento a todos o seu envolvidos.” (*)</p> <p>6) “Exercer sempre melhoria contínua no que diz respeito a logística dentro dos canteiros de obras.” (*)</p> <p>7) “Considero de suma importância a adoção de plano de ataque de obra compatibilizado com o <i>layout</i> de canteiro, para que dessa forma se consiga avaliar corretamente questões relacionadas aos transportes em obra, bem como das mudanças desse <i>layout</i> de canteiro durante a execução da obra” (*)</p>	<p>A locação dos elementos da obra, sejam eles transitórios (úteis à obra, como formas) ou permanentes (como instalações) é contemplada pelos projetos para produção e projetos de <i>layout</i> de canteiro, considerados na forma de indicadores qualitativos. Respondentes e especialistas ressaltaram a importância de não apenas pontuar projetos de <i>layout</i> de canteiro de forma estática, mas considerar a dinâmica de mudança do canteiro segundo os serviços desenvolvidos. Dada a importância de bancos de dados sobre construtibilidade, os mesmos foram acrescentados posteriormente ao <i>survey</i>.</p>
<p>8) “Foco na industrialização da construção, a mão de obra está cada vez mais cara e com pior qualidade, sem contar na carga tributária absurda que temos no país! Por isso vejo a industrialização como uma necessidade imediata para nosso setor poder crescer e se desenvolver.” (*)</p>	<p>Esse comentário, aliado aos conceitos obtidos em revisão, confirmou a adequação nas escalas de construtibilidade, cujos índices mais elevados nos indicadores de mão de obra são associados às opções de maior racionalização/industrialização.</p>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Quadro 14c – Comentários e contribuições qualitativas discutidas.

Comentário(s) dos profissionais (*) e especialistas (**)	Discussão
<p>9) “A padronização da espessura da laje só é importante se for laje pré-fabricada, onde a sobra de blocos de enchimento de um pavimento poderia ser utilizada em outro pavimento. Em lajes maciças não faz diferença.” (*)</p> <p>10) “A repetição das dimensões de elementos estruturais facilita a execução da obra, padronizando/reduzindo variações de armaduras e por sua vez ganhando na produtividade, mas vale ressaltar que cada caso, cada ponto ou local da obra é um caso, onde mais do que padronizar dimensões, deve levar em conta o que é necessário, seguro e viável em que nem sempre o padrão tem o melhor resultado final.” (*)</p> <p>11) “Trabalho com coordenação de projetos. Posso acrescentar que a repetição das estruturas/esquadrias/alvenarias pode ser mais econômica, mas nem sempre elas atendem ao desempenho mínimo exigido hoje pela NBR 15575, então é necessário encontrar um equilíbrio.” (*)</p> <p>12) “Racionalizar deve ser distante de Padronizar. Não é mais hora de mesmice, a hora pede criatividade, melhores construções e foco em qualidade de vida!” (*)</p>	<p>Pode-se observar que padronizações dependem de critérios explicativos para adequada consideração como critério de construtibilidade, devendo ser feita a explanação ao apresentar o indicador respectivo. Buscou-se indicadores flexíveis e que permitam certa variabilidade em alguns itens, dentro de faixas de padronização.</p> <p>São apontados aspectos normativos e construtivos pelos profissionais, para os quais coube observação e análise. Padronização em lajes maciças é ideal, mas não obrigatória pelas normas brasileiras relativas, podendo haver menores espessuras em alguns cômodos e usos em um mesmo pavimento, justificando a necessidade do indicador. Essas variações de espessuras influem na variação de formas e exigem maior cuidado no manejo, reduzindo a construtibilidade.</p> <p>Quanto ao aspecto criativo, o sistema de indicadores não esgota possibilidades como paisagismo, elementos decorativos pré-fabricados, mobiliário e equipamentos, dentre outros itens. Essa padronização, segundo os especialistas consultados, favorece compras e a gestão de insumos dentro do canteiro, dentre outros benefícios.</p>
<p>13) “Existem vários outros itens, mas acredito que o principal é a coordenação e compatibilização dos projetos, garantindo o fluxo de trabalho e, principalmente, evitando retrabalhos.” (*)</p> <p>14) “Coordenador de projetos segue relevante, mesmo com BIM” (**)</p> <p>15) “Para BIM, que se usa hoje, os projetos precisam ser feitos com muita qualidade. Ainda é necessário melhorar.” (**)</p>	<p>Confirmou-se a relevância do coordenador de projetos como responsável por evitar incompatibilidades, sendo o indicador relativo à sua presença mantido no sistema proposto, mesmo que se considere a utilização de modelagem em ferramentas BIM.</p>

Quadro 14d – Comentários e contribuições qualitativas discutidas.

Comentário(s) dos profissionais (*) e especialistas (**)	Discussão
<p>16) “Quanto mais "seco" o sistema, melhor é a construtibilidade. Exemplo: uso de vedações em sistema de gesso acartonado (menor uso de vedação de blocos e argamassa).” (*)</p> <p>17) “Trabalhar com <i>Wood Frame</i>.” (*)</p> <p>18) “Uso de ferramentas ideais para cada tipo de serviço. Contratação de mão de obra especializada.” (*)</p> <p>19) “Utilização de tecnologias construtivas avançadas, como elementos pré-fabricados, guias, aço cortado e dobrado ou argamassa pronta, por exemplo.” (*)</p>	<p>Existem diferentes possibilidades de métodos e materiais construtivos que permitem ganhos de construtibilidade, sendo que algumas das opções listadas nas contribuições estão presentes nos indicadores (como aço pré-cortado e pré-dobrado ou <i>drywall</i>).</p> <p>A inserção de indicadores considerando <i>Wood Frame</i> não foi feita nesta versão do sistema de indicadores pela falta de dados de produtividade dos sistemas de vedação e estruturais. Esta é uma oportunidade de melhoria futura do sistema.</p>
<p>20) “[...] prioridades que vão além da simples execução eficiente da obra como sua comercialização no mercado competitivo e saturado que temos hoje.” (*)</p>	<p>É relevante considerar que é necessário estudo prévio quanto à comercialização das edificações, entretanto, em termos de mercado, as otimizações de projeto e processos construtivos associadas ao conceito de construtibilidade permitem ganhos de produtividade, redução e retrabalhos e outros elementos que auxiliam na competitividade nos empreendimentos. Dessa forma, não foi acrescido indicador específico, haja vista não haver referencial suficiente e não fazer parte da delimitação desta pesquisa.</p>
<p>21) “Reuniões semanais com o pessoal de obra para transmissão do planejamento semanal.” (**)</p>	<p>As reuniões destinadas ao acompanhamento e planejamento são apontadas pelos profissionais que responderam ao <i>survey</i> e especialistas como sendo relevantes à melhoria da construtibilidade, entretanto, a quantidade de reuniões varia de mensais a semanais, de acordo com prazos e restrições. Estabeleceu-se um valor mínimo como uma reunião mensal, não havendo pontuação extra para maior frequência.</p>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Quadro 14e – Comentários e contribuições qualitativas discutidas.

Comentário(s) dos profissionais (*) e especialistas (**)	Discussão
<p>22) “Plantas de obra em material polimérico, que não sujem e não rasguem com o manuseio excessivo e diário.” (*)</p> <p>23) “O compartilhamento de informações principalmente sobre especificações é de extrema importância na execução da obra. / Uso de QR Code para baixar o PDF na nuvem em todos os projetos. Atualmente, mesmo na obra, todos que usam o projeto tem smartphone e podem visualizar melhor os detalhes em zoom.” (*)</p> <p>24) “Fornecer ao profissional de execução dos pisos e azulejos, paginação com planejamento de cortes das peças e definições da posição de início do assentamento. Após execução do reboco, fixar nas paredes de cada cômodo desenhos de “<i>as-built</i>” das tubulações, para evitar que as próximas equipes (ex. instalação de móveis) perfurem as tubulações. Disponibilizar para o pintor e mestre-de-obras mapa das cores de cada cômodo (podendo ser de maneira simplificada em papel A4), de maneira que possa ser facilmente conferido.” (*)</p> <p>25) “Pranchas legíveis deveriam ser algo padrão, automático.” (**)</p>	<p>Na apresentação de informações, tanto destinadas ao detalhamento do produto, como do processo construtivo, há possibilidades que envolvem desde soluções simples como proteção de pranchas até recursos tecnológicos como <i>QR codes</i>. Há uma grande variedade de opções tecnológicas, que dependem do nível de desenvolvimento da empresa e, como o sistema de indicadores busca universalidade, traz recomendações que privilegiam legibilidade e clareza na transmissão de informações, em busca de redução de retrabalhos e melhoria da construtibilidade, considerando aspectos generalistas, que não privilegiam o uso de dada ferramenta.</p> <p>Houve um(a) especialista que mencionou que infelizmente ainda é necessário colocar como requisito a legibilidade, pois deveria ser regra nos materiais gráficos apresentados. As descrições oferecidas pelo respondente relativo ao comentário “24”, por sua vez, forneceram novas descrições possíveis de projetos para produção.</p>
<p>26) “Paredes em concreto armado funcionaram muito bem quando protegidas por telhado, com platibanda apresentaram muitas manifestações patológicas.” (**)</p>	<p>O critério combinado entre telhado e sistema estrutural não foi considerado, pois a delimitação de construtibilidade desse trabalho envolve a etapa de execução e precedentes. A consideração de manifestações patológicas é oportunidade futura de melhoria do sistema de indicadores.</p>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Observados os comentários presentes no Quadro 14, verifica-se que aspectos relacionados à construtibilidade como novas tecnologias construtivas, compatibilização de projetos, dentre outros, presentes no referencial teórico, foram confirmados

pelos profissionais de AEC como sendo relevantes para a melhoria da construtibilidade. Em contraponto, observou-se a necessidade de cuidados ao definir e estabelecer indicadores relacionados à padronização de elementos construtivos, aspecto considerado na elaboração do sistema de indicadores.

4.2 SISTEMA DE INDICADORES DE CONSTRUTIBILIDADE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL (SICC)

Neste e nos itens a seguir, serão apresentados aspectos relacionados à utilização do sistema de indicadores de construtibilidade proposto, o Sistema de Indicadores de Construtibilidade para a Construção Civil (SICC). É importante que se conheça a formulação (método de cálculo) para correta avaliação e comparações posteriores.

Essas avaliações podem ser utilizadas por diferentes usuários. Os indicadores individualizados e suas escalas são úteis a profissionais de AEC envolvidos em projeto e execução. Um profissional de arquitetura, por exemplo, pode considerar os aspectos de *design* de produto como a padronização de esquadrias ou de pavimentos-tipo. O indicador geral de construtibilidade, por sua vez, é útil às empresas que realizem a construção de edificações residenciais multifamiliares de padrão popular e para órgãos de fomento à construção (órgãos governamentais, Caixa Econômica Federal, dentre outros).

A Norma ABNT NBR ISO 9001 apresenta aspectos relacionados à medição de desempenho (COSTA, 2003) em processos quaisquer que ocorram dentro das empresas e prestadores de serviço. Dentro desses processos, são apresentados os seguintes pontos: *fontes de entradas* (como processos antecedentes), *entradas* (como materiais, recursos ou requisitos), *atividades*, *saídas* (produtos, serviços ou decisões) e *receptores de saídas* (processos subsequentes). Cada um desses pontos podem ser monitorados e possuir medição de desempenho (ABNT, 2015a). No SICC, a medição de desempenho quanto à construtibilidade do empreendimento considera entradas (na forma de projetos de produto e planejamento de canteiro) e atividades (dentro dos sistemas construtivos, elementos do produto, padronizações e simplificações).

O conceito de construtibilidade, considerando a Engenharia Simultânea, prevê antecipação de aspectos importantes ao desenvolvimento do empreendimento de construção. Dentro do possível, deve-se antecipar a avaliação e detalhamento do empreendimento, mas há fatores que influem na construtibilidade e que ocorrem apenas

durante a própria execução, tais como reuniões de planejamento e acompanhamento da execução com as equipes envolvidas. Desse modo, dividiu-se os indicadores propostos nas seguintes categorias:

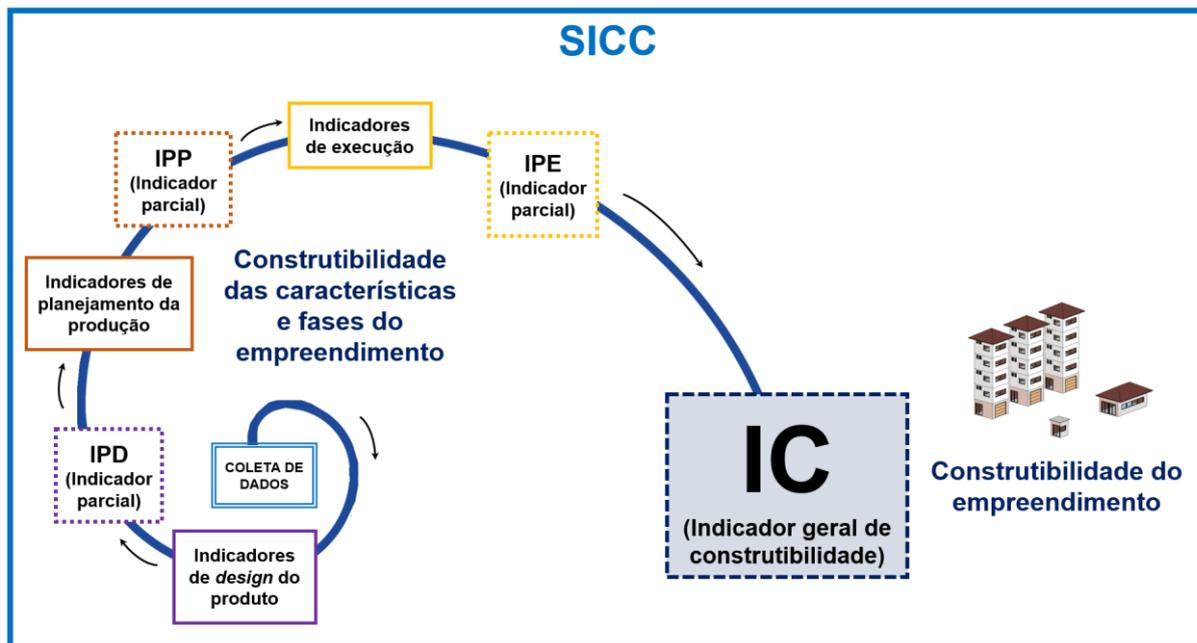
- *Indicadores de design do produto*: contempla indicadores relacionados à forma, geometria, arquitetura e transmissão de informações. Pensando em retroalimentação de informações de empreendimentos anteriores, também inclui o indicador “banco de dados sobre construtibilidade”, que é útil para incorporar as experiências dos empreendimentos anteriores nesta etapa. Há, ainda, o indicador “Meio de transporte vertical”, pois alguns tipos de meio de transporte exigem projetos preliminares, como, por exemplo, guias, que exigem fundações especiais.
- *Indicadores de planejamento da produção*: são considerados aspectos relacionados ao canteiro de obras, dimensões, localização e restrições.
- *Indicadores de execução*: envolve indicadores que somente permitem avaliação durante a etapa de execução do empreendimento de construção.

Podem ser avaliados estudos preliminares e projeto básico, mas é recomendável que sejam utilizados parâmetros do projeto executivo para a avaliação de um empreendimento, existindo atualizações dos indicadores quando houver atualizações de projeto. Essa atualização é relevante para que seja correta a avaliação de empreendimentos concluídos.

Outra finalidade possível para o sistema de indicadores é melhoria e desenvolvimento dos novos projetos de construção. Dentro dessa finalidade, os indicadores servem de referencial prévio para as etapas de *design* do produto e planejamento da produção.

Com informações relativas ao projeto e execução disponíveis, previamente selecionadas (quantitativos já levantados), todo o SICC pode ser calculado no período de um a dois dias úteis. Na avaliação de empreendimentos concluídos, podem ser utilizados dados de orçamentos, enquanto projetos em desenvolvimento podem ser avaliados por extração de dados de modelagem. A sequência de cálculo é apresentada pela Figura 12:

Figura 12 – Sequência de definição dos indicadores do SICC



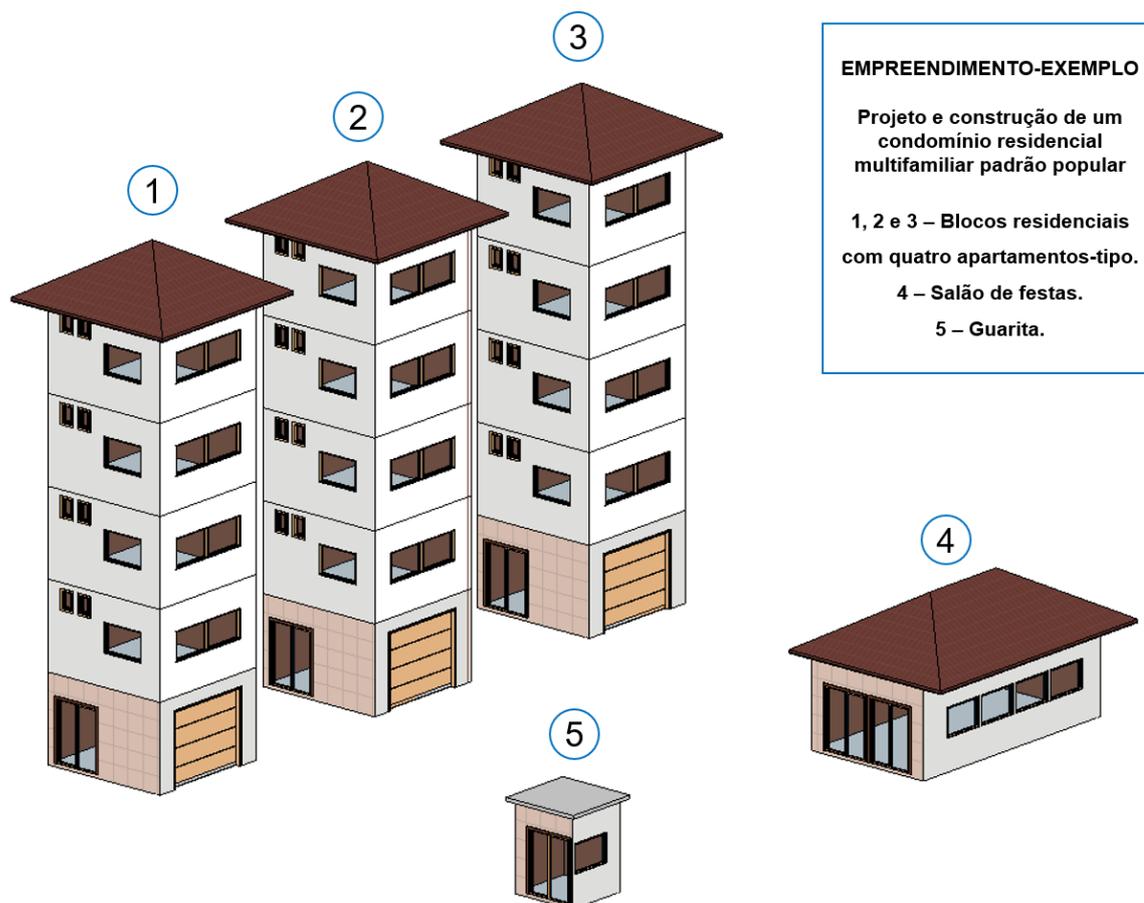
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Todos os indicadores de construtibilidade devem ser calculados para o empreendimento completo; entretanto, dentro dele há variabilidades, as quais precisam ser consideradas nesse cálculo, para cada característica ou tecnologia construtiva específica, por meio de média ponderada. Essas características ou tecnologias construtivas específicas possuem seus indicadores de construtibilidade bem definidos, e a ponderação permite considerar a não homogeneidade dessas características, ou seja, a condição de construtibilidade dentro do empreendimento. Dessa forma, não são adotados critérios que penalizariam sua avaliação, como a adoção da pior condição encontrada (pior indicador) dentre as existentes.

Para ilustrar o cálculo dessa média ponderada, utilizar-se-á um indicador genérico de tipologia de paredes e o Empreendimento-Exemplo¹⁰ da Figura 13:

¹⁰ As medidas e valores relativos ao empreendimento-exemplo são ilustrativos, com valores baixos, para fins didáticos.

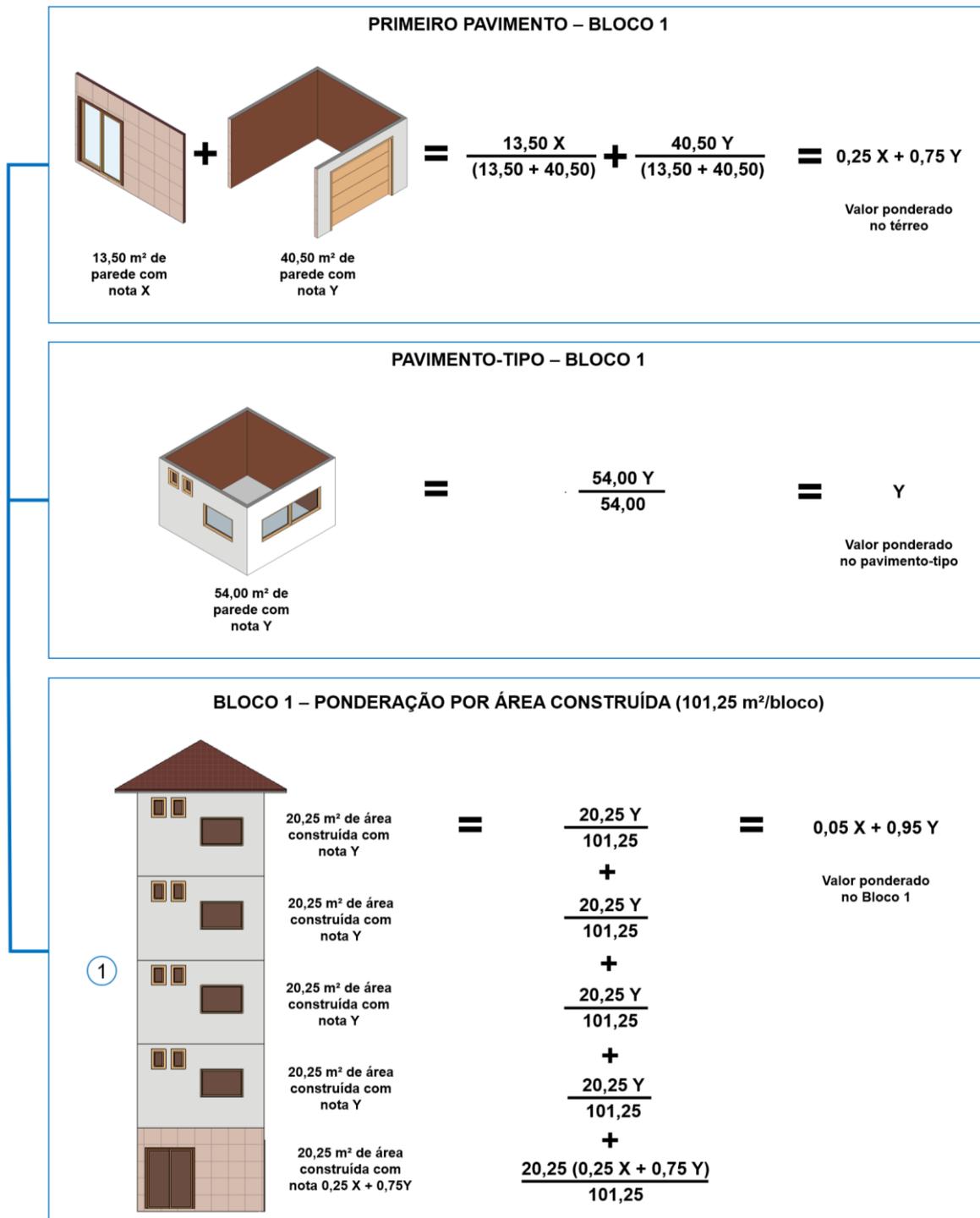
Figura 13 – Empreendimento-Exemplo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Para analisar o empreendimento, é necessário começar do menor elemento (pavimento) para o maior, para cada prédio. A ponderação iniciará pelo bloco 1 (Figura 14), que possui um pavimento térreo e outros quatro pavimentos-tipo. No primeiro pavimento do bloco 1, há paredes com azulejos, com nota X, e paredes com revestimento em argamassa e pintura com tinta acrílica, com nota Y. Nos pavimentos-tipo, apenas paredes com nota Y.

Figura 14 – Ponderação de notas para o Bloco 1 do Empreendimento-Exemplo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Os Blocos 1, 2 e 3 possuem mesma geometria e mesmas características construtivas. Desse modo, as ponderações são iguais. A Figura 15 apresenta a ponderação relativa ao salão de festas, válida para o pavimento e para o prédio, por ser térreo.

Figura 15 – Ponderação de notas para o Salão de Festas do Empreendimento-Exemplo

PRIMEIRO PAVIMENTO – SALÃO DE FESTAS

$$\begin{aligned}
 & \text{13,50 m}^2 \text{ de parede com nota X} + \text{64,20 m}^2 \text{ de parede com nota Y} \\
 &= \frac{13,50 X}{(13,50 + 64,20)} + \frac{64,20 Y}{(13,50 + 64,20)} = 0,17 X + 0,83 Y \\
 & \text{Valor ponderado no térreo} \\
 &= \\
 & \text{Valor ponderado para o edifício (pois é edifício com só um pavimento)}
 \end{aligned}$$

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

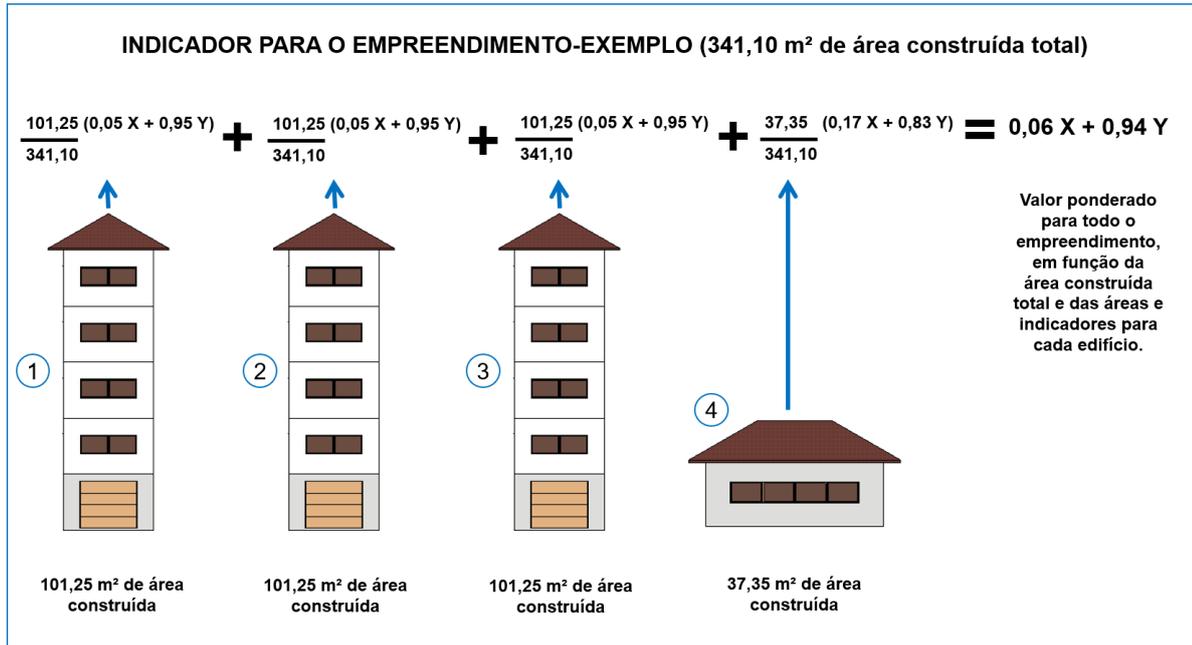
Além dos blocos residenciais e do salão de festas, o empreendimento-exemplo ainda possui uma edificação “5”, correspondente à guarita. Edificações de pequeno porte como guaritas, de até 2 m de lado em planta, e que não sejam contíguas (unidas) aos blocos principais, podem ser desconsideradas, pois apresentam pequena representatividade, diminuindo ainda mais em condomínios de maior porte.

Dessa forma, com as ponderações por blocos residenciais e salão de festas, existe a avaliação do indicador de paredes para todo o empreendimento, representada na Figura 16. Essa ponderação ocorre por área construída das edificações, levando ao indicador de construtibilidade para paredes $0,06 X + 0,94 Y$. Os valores de X e Y são fornecidos em tabelas específicas ou vêm de fórmulas fornecidas neste trabalho. Caso houvesse três tipos diferentes de paredes, seria necessário ponderar entre as tipologias X, Y e Z, e assim sucessivamente.

Os indicadores de construtibilidade também não consideram elementos de entorno e áreas abertas, como vegetação e pavimentação, presentes em alguns empreendimentos residenciais e pouco representativos em empreendimentos com bloco único e lote pequeno. Deve correr a ponderação apenas para espaços que constituam em área construída, ou seja, recobertas por telhados ou lajes de cobertura.

Diversas tipologias construtivas são apresentadas em indicadores. Para casos especiais onde for utilizada tipologia não listada, pode-se verificar a classificação de maior similaridade, pelo grau de industrialização ou produtividade em campo.

Figura 16 – Ponderação de notas para todo o Empreendimento-Exemplo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Todos os indicadores de construtibilidade possuem escala crescente variando de zero (0,00) a um (1,00), sendo um a melhor característica de construtibilidade. O cálculo de cada indicador e a formulação do indicador geral de construtibilidade serão apresentados nos itens a seguir.

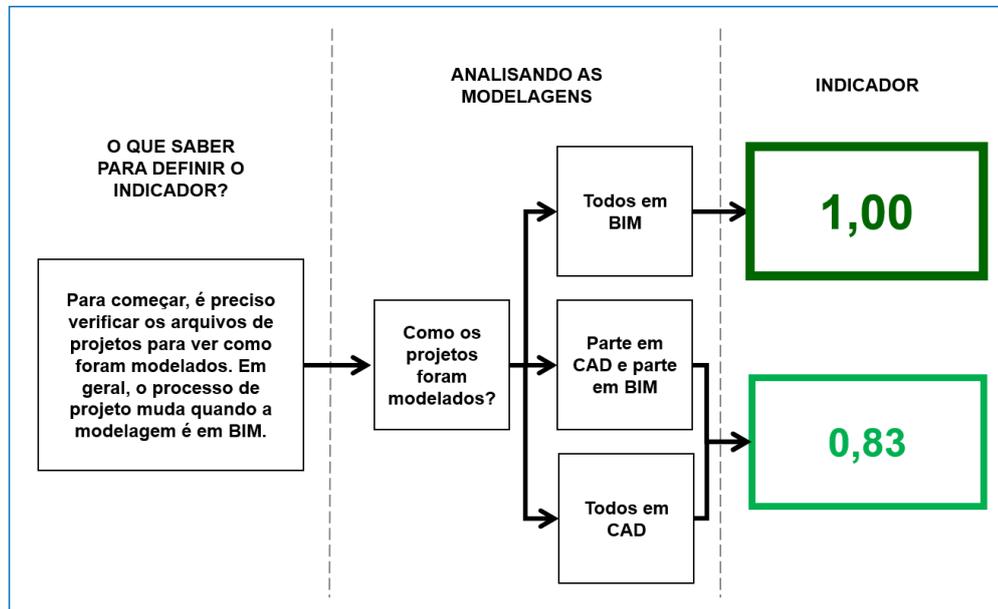
4.3 INDICADORES DE *DESIGN* DO PRODUTO

4.3.1 Desenvolvimento dos projetos

O SICC pode ser aplicado a projetos que tenham sido desenvolvidos tanto em CAD quanto em BIM. Quando os projetos são modelados em BIM, a construtibilidade é favorecida, por oferecer ferramentas melhores para compatibilização e unificar o modelo de construção, evitando que diferentes visualizações não sejam compatíveis. Modificações de projeto também podem ser incorporadas de forma mais simples e assertiva.

Dessa forma, modelagem de projetos de produto (arquitetônica, elétrica, hidrosanitária e pluvial, projeto de prevenção contra incêndio (PrPCI), estrutural e outras) receberão pontuação maior se realizadas em BIM. A Figura 17 apresenta a definição do indicador de modelagem de projetos, que não necessita da aplicação de fórmula matemática (seus valores já foram definidos previamente pela equação 6).

Figura 17 - Definição do indicador de modelagem de projetos



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Por meio da Figura 17, observa-se que modelagens que misturem processos em CAD e BIM são pontuadas pela menor nota. Essa característica se deve ao fato de não bastar a utilização de alguns modelos realizados em uma ou outra plataforma,

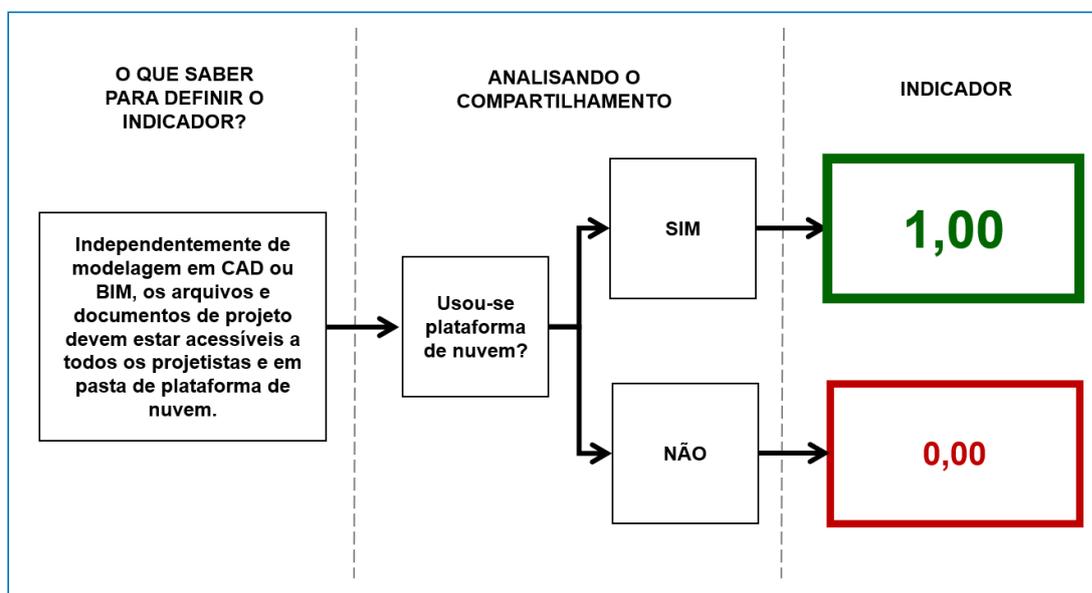
mas que as modelagens sejam realizadas de forma consistente: os potenciais benefícios das modelagens BIM e a extensão das possibilidades em dimensões que envolvem tempo e planejamento são perdidos.

4.3.2 Uso de plataforma de nuvem

Além do formato de modelagem, é relevante para a construtibilidade que não ocorram incompatibilidades entre projetos. Além de facilitar a compatibilização com modelagem BIM, é extremamente importante que os projetos complementares sejam desenvolvidos sobre arquitetônicos atualizados, ou ainda que todas as disciplinas sejam desenvolvidas com conhecimento de possíveis problemas e interferências: neste sentido, o uso de plataforma de nuvem é fundamental.

Não é dispensado o trabalho de um coordenador de projetos, mas as plataformas de nuvem permitem que diferentes projetistas tenham acesso às versões atualizadas das demais disciplinas. A Figura 18 apresenta a definição do indicador “uso de plataforma de nuvem”:

Figura 18 - Definição do indicador de uso de plataforma de nuvem



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Arquivos eletrônicos com projetos, nessas plataformas¹¹, são atualizados a cada alteração em um dos computadores com pasta compartilhada. Todos os projetistas precisam utilizar uma mesma plataforma.

Outro aspecto a destacar é que o indicador do “uso de plataforma de nuvem” é voltado ao desenvolvimento dos projetos (*design* de produto) e não considera projetos *as-built*. Há empresas que trabalham com armazenamento em nuvem e disponibilização de arquivos, inclusive à equipe de obra, utilizando *QR Code*, de modo que todos tenham acesso a versões atualizadas, inclusive durante a execução, tratando-se de recurso mais avançado.

4.3.3 Relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo

As superfícies de fachadas apresentam menor construtibilidade do que vedações internas por terem a sua execução mais complexa (uma vez que necessitam de materiais, equipamentos e controles mais complexos que as vedações internas, como por exemplo: equipamentos de acesso a fachada, maior controle de qualidade nos revestimentos externos, impermeabilização de vãos de janela, dentre outros). Então, uma diretriz geral de projeto seria, sempre que possível, buscar a redução das áreas de fachada em relação à área construída do pavimento, sendo o quadrado a forma ótima construtiva. Apesar de uma planta em círculo otimizar a área, gera menor construtibilidade, recebendo menor pontuação.

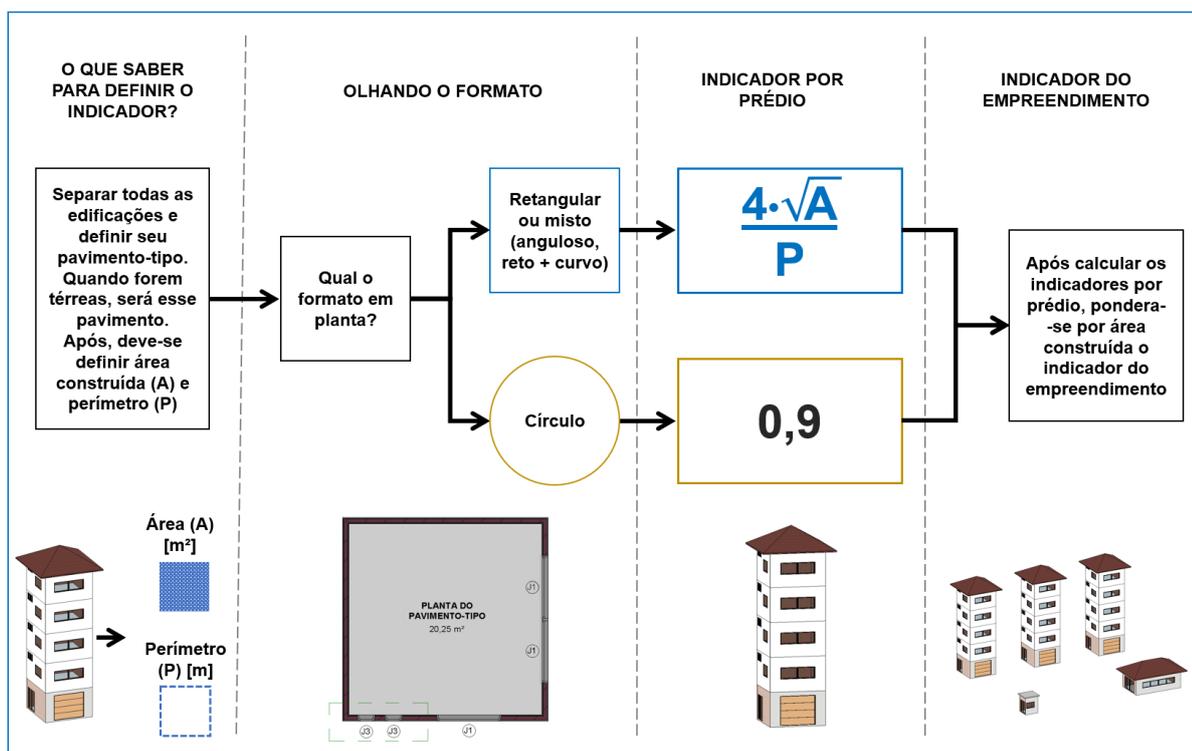
Por mais que o quadrado seja a figura de referência para uma planta, há outros fatores limitantes, como a funcionalidade da edificação e o próprio formato do(s) lote(s) a ser(em) edificado(s). Dessa forma, o objetivo do indicador é realizar um comparativo entre formato otimizado e formato real, apresentando um indicativo de maior ou menor construtibilidade, mas não possui o intuito de definir o quadrado como forma obrigatória.

A Figura 19 apresenta a sequência de cálculo para o indicador “relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo”. Como pode haver mais de um bloco, ou ainda construções com diferentes plantas e geometrias, é necessária a

¹¹ Existem diferentes opções, com menor espaço de armazenamento (gratuitas) ou com maior espaço de armazenamento (por assinatura), como Google Drive, Dropbox, OneDrive e outras. O indicador avalia a funcionalidade, não a ferramenta.

ponderação por área construída apresentada no item 4.2. Para prédios com planta no formato de círculo, o indicador é tabelado (cujo valor de tabela é discutido no item 3.5.2).

Figura 19 - Definição do indicador de relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

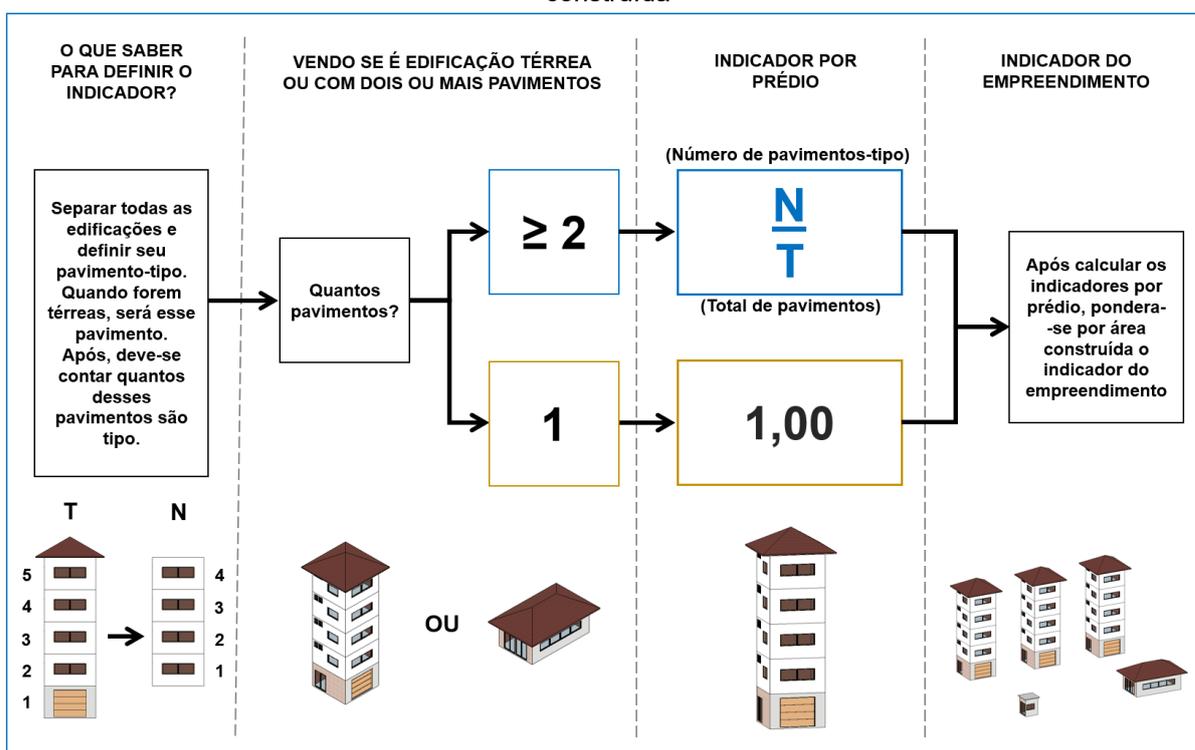
Áreas e perímetros devem ser definidos em metro quadrado [m²] e metro [m], respectivamente. Ferramentas CAD e BIM permitem a realização dessas medições por comandos próprios para esse fim.

4.3.4 Área construída dos pavimentos-tipo em relação à área total construída

A padronização geométrica dos projetos é relevante para ganhos de produtividade (por meio do efeito aprendido da mão de obra) e construtibilidade. Dentre os indicadores de padronização presentes nesse sistema de indicadores de construtibilidade, um deles se refere ao grau de padronização dentro de cada edifício, na forma de pavimentos-tipo.

A Figura 20 apresenta o roteiro de cálculo desse indicador. Devem ser considerados na contagem de pavimentos os que sejam pilotis e coberturas. Não se deve incluir nessa contagem pavimentos de subsolo, por possuírem particularidades construtivas e que não seguirão o padrão do pavimento-tipo em nenhuma circunstância, pois servem como pavimento técnico ou abrigam vagas de garagem.

Figura 20 - Definição do indicador de área de construída dos pavimentos-tipo em relação à área total construída



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

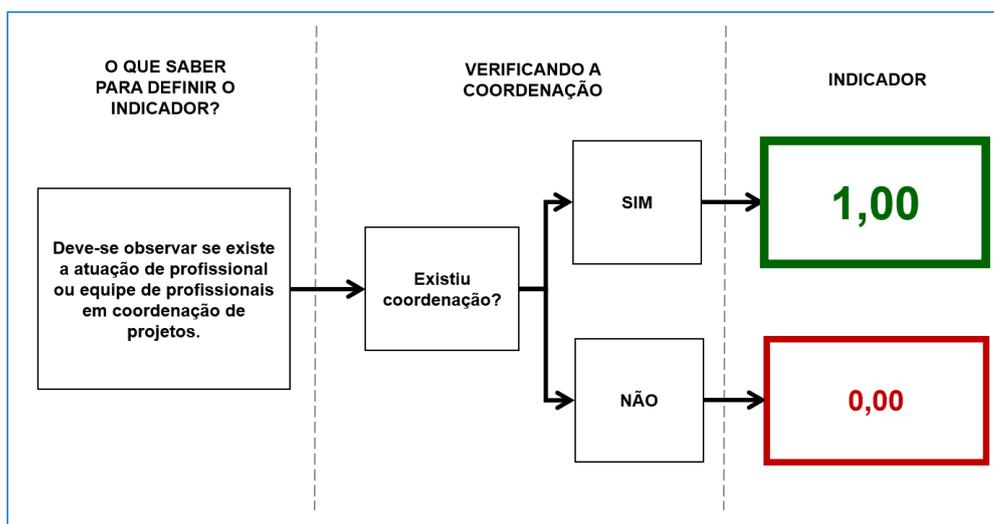
No indicador apresentado pela Figura 20, a ponderação para o empreendimento deve considerar toda a área construída. Essa regra de ponderação permite seguir as mesmas ponderações por edifício dos demais indicadores.

4.3.5 Coordenação de projetos

A coordenação de projetos é fundamental para reduzir ao máximo as incompatibilidades entre projetos, independentemente do formato de modelagem (CAD ou BIM). Essa coordenação pode ser realizada por uma pessoa ou uma equipe e ser

realizada pelo escritório de projetos (quando for multidisciplinar) ou pela empresa construtora. A Figura 21 apresenta o roteiro de definição desse indicador:

Figura 21 - Definição do indicador de coordenação de projetos



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

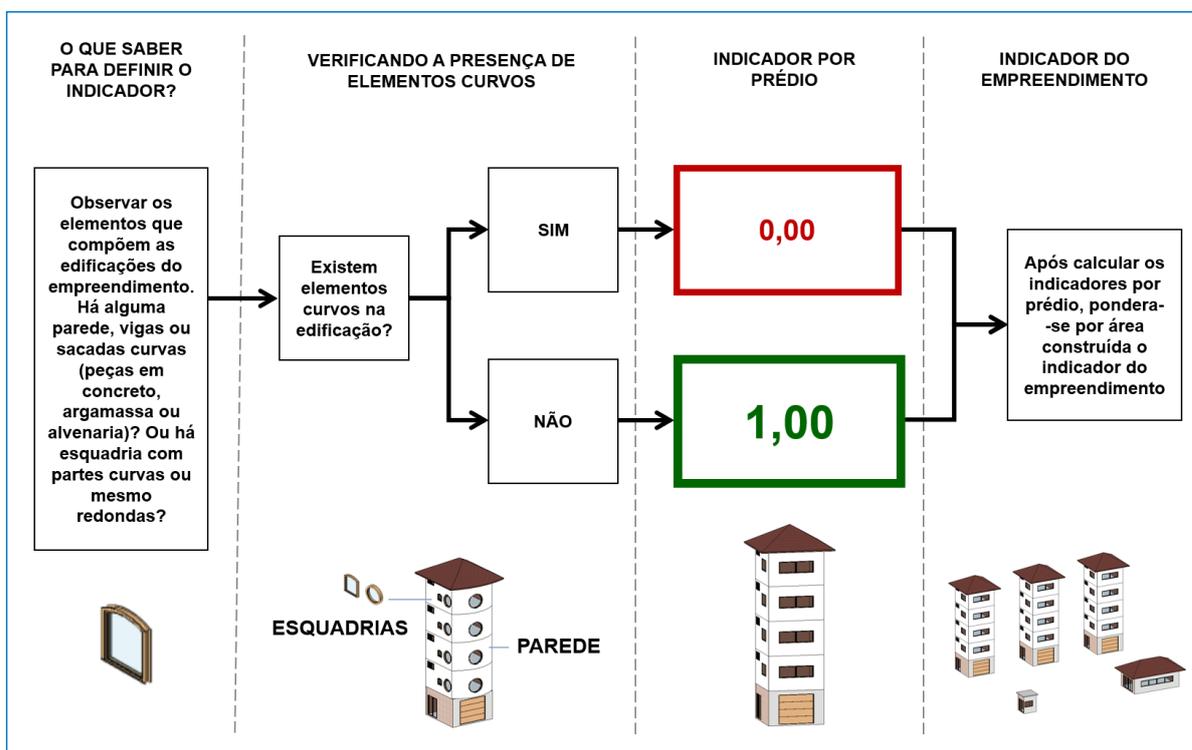
Como se observa na Figura 21, a avaliação é de existência da coordenação de projetos. Essa atividade é essencial não só para evitar incompatibilidades, mas antecipar dificuldades e a resolução de interferências durante a execução, onde pode ocorrer retrabalho e é momento indesejável para alterações de projeto.

4.3.6 Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias

Elementos curvos em fachadas e esquadrias podem representar um ganho estético, dependendo do público e padrão construtivo, mas representam perda de construtibilidade. O menor grau de construtibilidade se deve aos elementos adicionais que interferem em desperdícios em material, com muitos recortes (tanto em materiais permanentes, como revestimentos cerâmicos, como materiais transitórios, como chapas de compensado/madeirite), e mão de obra, com perda de produtividade. Para que esses elementos sejam executados e interfiram positivamente na estética, é necessário grande cuidado na execução para que resulte em acabamento de boa qualidade.

A Figura 22 apresenta o roteiro de cálculo desse indicador:

Figura 22 - Definição do indicador de presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Os elementos curvos avaliados por esse indicador envolvem alvenaria e concreto armado. Elementos curvos aplicados sobre fachadas que envolvam peças pré-fabricadas metálicas e não sejam embutidos na fachada não devem ser considerados, pois não afetam a construtibilidade até a execução das edificações.

4.3.7 Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar

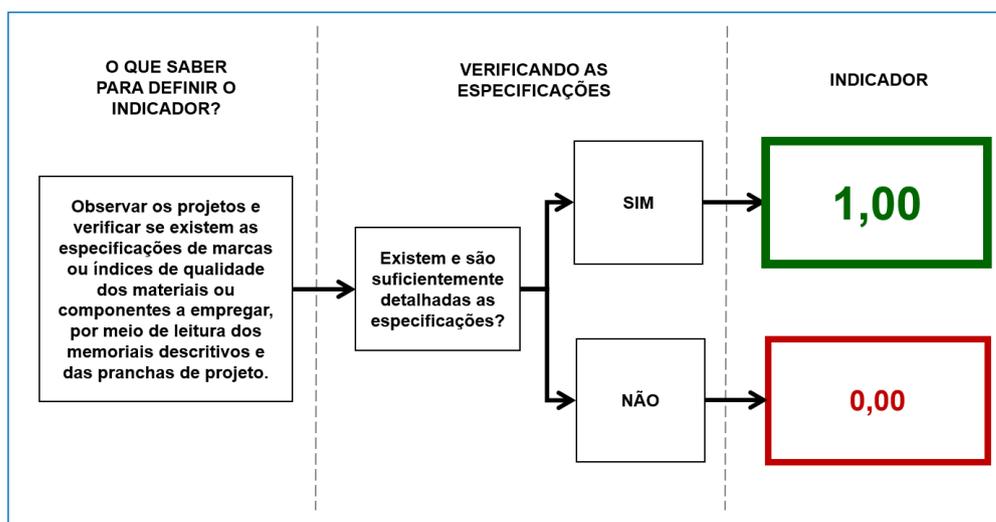
As características dos materiais ou componentes empregados em uma edificação definem produtividade e construtibilidade dos empreendimentos de construção. Sua adequada definição também permite que se atenda aos requisitos de desempenho necessários àquela(s) edificação(ões).

A quantidade e formato das especificações irão depender de algumas características do empreendimento. Em caso de financiamento por bancos públicos ou programas habitacionais, é importante atentar às exigências do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H). Também podem ser consideradas

as prescrições da norma ABNT NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013). Para todos os casos, cabe análise qualitativa da presença e adequação das especificações necessárias, com verificação em memorial descritivo e materiais gráficos (pranchas).

Esse indicador deve ser estabelecido de acordo com a Figura 23:

Figura 23 - Definição do indicador de presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais ou componentes a empregar



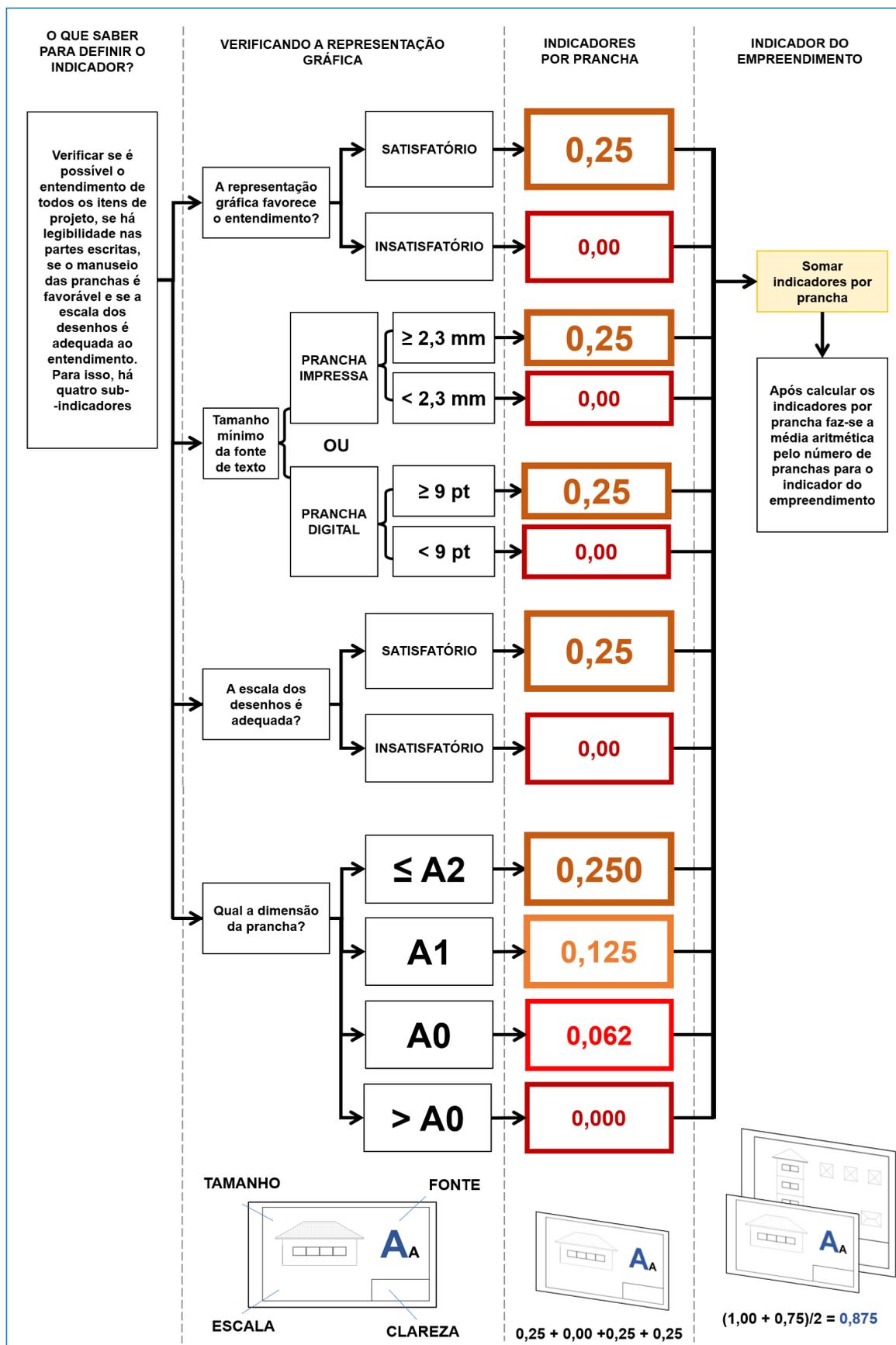
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

4.3.8 Qualidade na representação

Pranchas e materiais gráficos são necessários para a comunicação das características do produto e processo construtivo, sendo lidos por engenheiros, arquitetos, mestres de obras e outros profissionais que atuam na execução. Falhas de detalhamento ou de legibilidade podem levar a erros de execução (com retrabalhos) ou a perdas de produção, pois os operários acabam necessitando de auxílio adicional para que possam iniciar ou prosseguir suas atividades.

Os indicadores de qualidade na representação gráfica avaliam aspectos importantes para a redução de erros relacionados à confecção de pranchas de projeto, considerando tanto as versões impressas, como aquelas geradas em meio digital. Como as representações podem variar de acordo com projetista e elemento gráfico, deve ocorrer a formação de nota única por média aritmética, em definição do indicador para o empreendimento apresentada na Figura 24.

Figura 24 - Definição do indicador de qualidade na representação



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Os indicadores de qualidade na representação gráfica devem ser calculados em projetos para produto, projetos para produção e de *layout* de canteiro. Na inexistência de algum projeto específico, deve-se considerar todos os projetos disponíveis. Todos esses indicadores receberam o mesmo valor máximo (0,25) por possuírem relevância semelhante, de acordo com a experiência dos especialistas consultados.

4.3.9 Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas

O “Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas” é um indicador que considera a utilização de mão de obra, na forma de aspectos como grau de industrialização, acabamento, padronização e produtividade de vedações verticais – paredes, divisórias e muretas internas e externas. Esse indicador tem origem no sistema BDAS e foi ampliado/aprimorado por este trabalho, considerando aspectos construtivos nacionais e a contribuição de especialistas, com maiores valores (indicador “1,00”), por exemplo, para *light steel frame* / gesso acartonado e outras tecnologias, e, no extremo oposto, com menor construtibilidade, alvenaria convencional com indicador “0,05”.

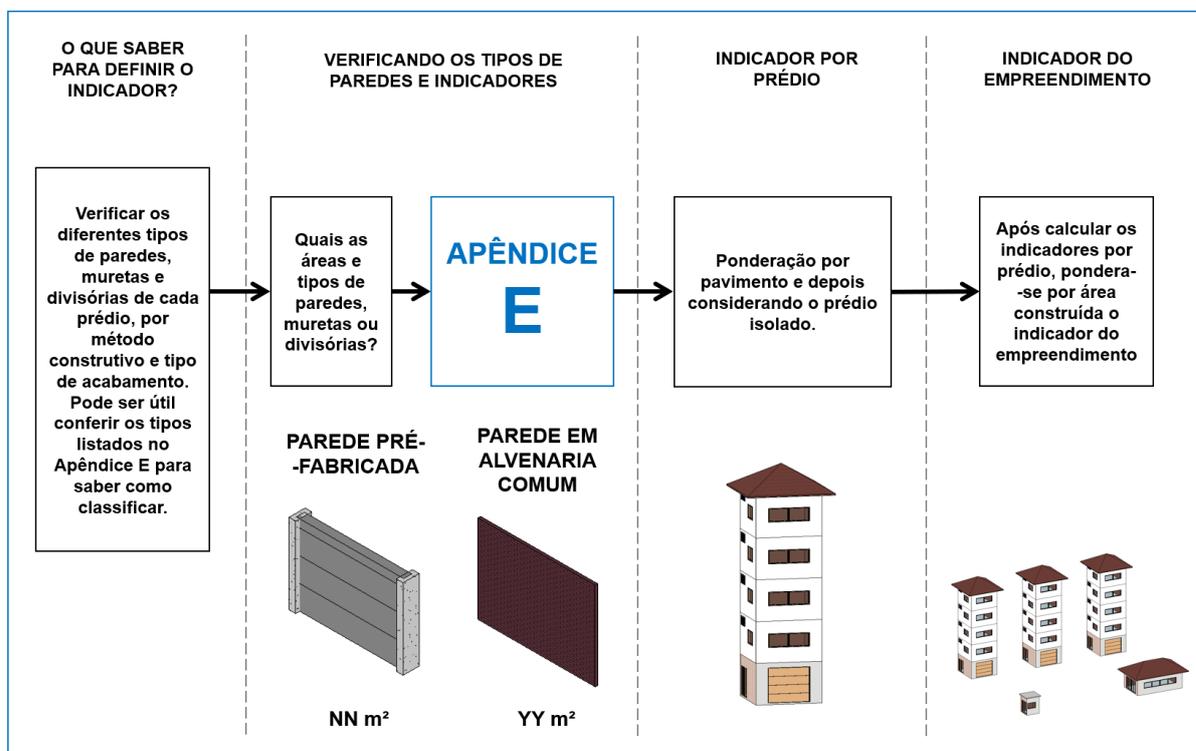
Dentro de um mesmo empreendimento, diferentes tipos de vedações verticais podem ser utilizados, e cada um deles possui pontuação diferente. Desse modo, é preciso realizar ponderações por pavimento, edificação e pelo empreendimento, considerando o apresentado no item 4.2, para definir a construtibilidade do empreendimento todo. Pode-se considerar como medida para cada tipo de parede/divisória/mureta a área desse elemento, em metro quadrado, sem descontar vãos e esquadrias.

Quando todos os pavimentos possuem o mesmo pé-direito no prédio e não houver muretas, pode-se ponderar pela medição do perímetro de parede. Essa simplificação é possível quando há muretas, mas é preciso considerar a metade do perímetro da mureta nos cálculos realizados.

A Figura 25 apresenta o roteiro de cálculo desse indicador. Para cada tipo de parede e nível de acabamento, há um indicador tabelado, presente no Apêndice E (**clique aqui** para acessar). É possível consultar o valor de cada indicador para cada tipo de parede e fazer a ponderação por áreas, ou usar equações e variáveis e fazer essa ponderação ao final (chamando um tipo de parede de A, outro de B e assim sucessivamente). A cada profissional que utilizar esse indicador, cabe a escolha da

ordem de cálculo mais adequada, chegando-se em ambos os casos a respostas semelhantes.

Figura 25 - Definição do Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

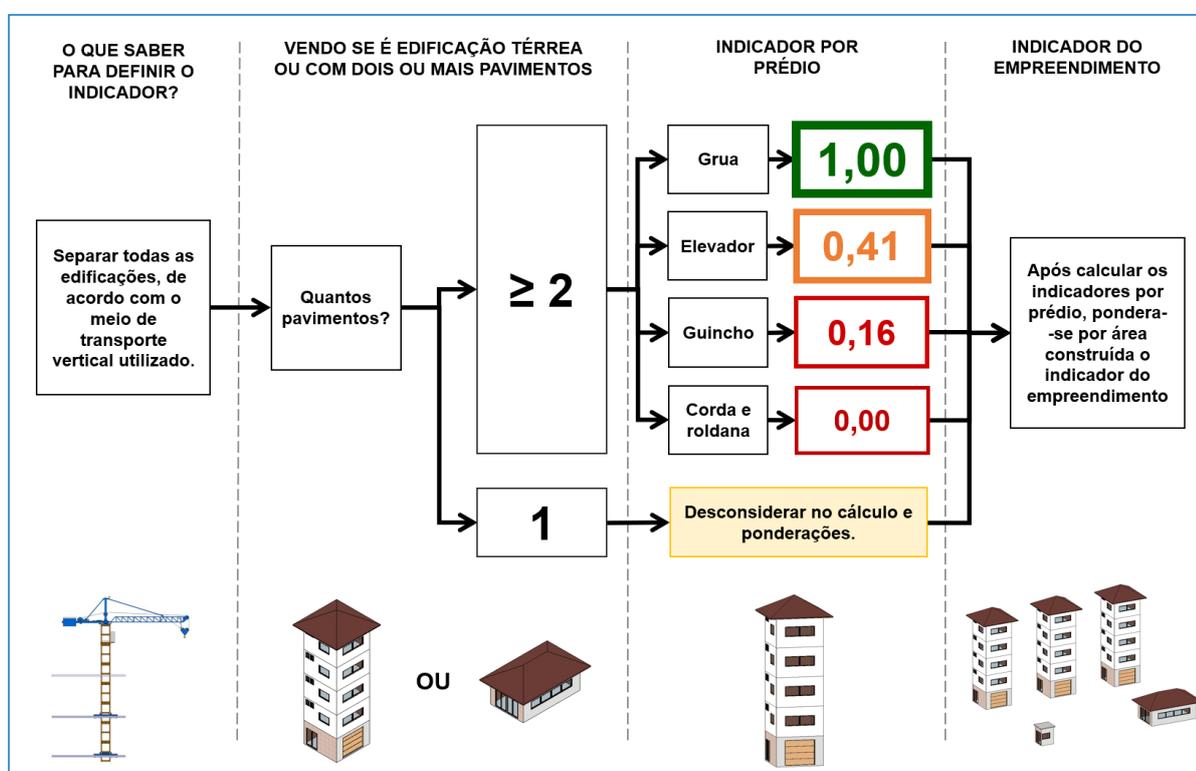
Nos indicadores presentes no Apêndice E, alguns se referem a peças em **concreto pré-fabricado**. Somente devem ser considerados elementos pré-fabricados aqueles que seguem a definição da ABNT, ou seja, que tenham sido concretados fora do local de utilização e produzidos em ambiente controlado, com características industriais (ABNT, 2017; EL DEBS, 2017). Caso isso não ocorra, deve-se classificar como concreto armado convencional moldado *in loco*.

Para guarda-corpos, semelhantes a muretas ou instalados, também são mencionados modelos pré-fabricados. Nesse caso, podem ser considerados modelos em vidro, metal ou com produção fora do canteiro de obras e instalação no local.

4.3.10 Meio de transporte vertical

Os meios de transporte vertical são equipamentos que auxiliam no transporte de materiais, elementos prontos (esquadrias, louças, dentre outros), componentes e insumos produzidos em canteiro ou adquiridos de empresa especializada (como argamassa para assentamento e revestimento, por exemplo), levando-os aos diferentes pavimentos do empreendimento. Esses equipamentos possuem diferenças na capacidade de carga, que, por meio da equação 5, definiram os indicadores. A Figura 26 apresenta o roteiro para a definição do indicador:

Figura 26 - Definição do indicador de meio de transporte vertical



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)¹²

Conforme indicado na Figura 26, deve-se verificar os meios de transporte vertical e, na presença de mais de um tipo, ponderar segundo a área construída das edificações que utilizarão esse tipo de transporte, ou seja, com dois ou mais pavimentos. Se for utilizado apenas um tipo de transporte vertical, não é necessária ponderação.

¹² Ilustração de grua extraída de: <https://www.logismarket.ind.br/grupo-montarte/grua/2498132157-p.html>. Acesso em: 07 maio 2020.

É importante que se avalie quais tipos de transporte vertical serão utilizados desde a concepção do produto, por questões de utilização de espaço e outros requisitos. Gruas exigem fundações adequadas e prazo de uso otimizado, em função do aluguel do equipamento. Os elevadores considerados são de carga, instalados com a finalidade exclusiva de transporte vertical de cargas.

4.3.11 Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)

De forma similar ao indicador que avalia o sistema de vedações verticais, o indicador “uso de mão de obra no sistema estrutural” avalia aspectos como padronização, industrialização e produtividade de mão de obra em canteiro na produção/alocação dos elementos estruturais. Quanto menor a construtibilidade e crescente a demanda por mão de obra, diminuem as pontuações. Um sistema estrutural totalmente pré-fabricado, por exemplo, recebe pontuação “1,00”, enquanto alvenaria estrutural recebe pontuação “0,30”.

Como sistema estrutural, considera-se a supraestrutura (toda a estrutura acima das vigas de baldrame, visível ao nível do terreno) e o sistema de cobertura (podendo ser telhado ou laje impermeabilizada). As ponderações de notas entre edificações de um mesmo empreendimento são realizadas considerando o telhado como um pavimento adicional.

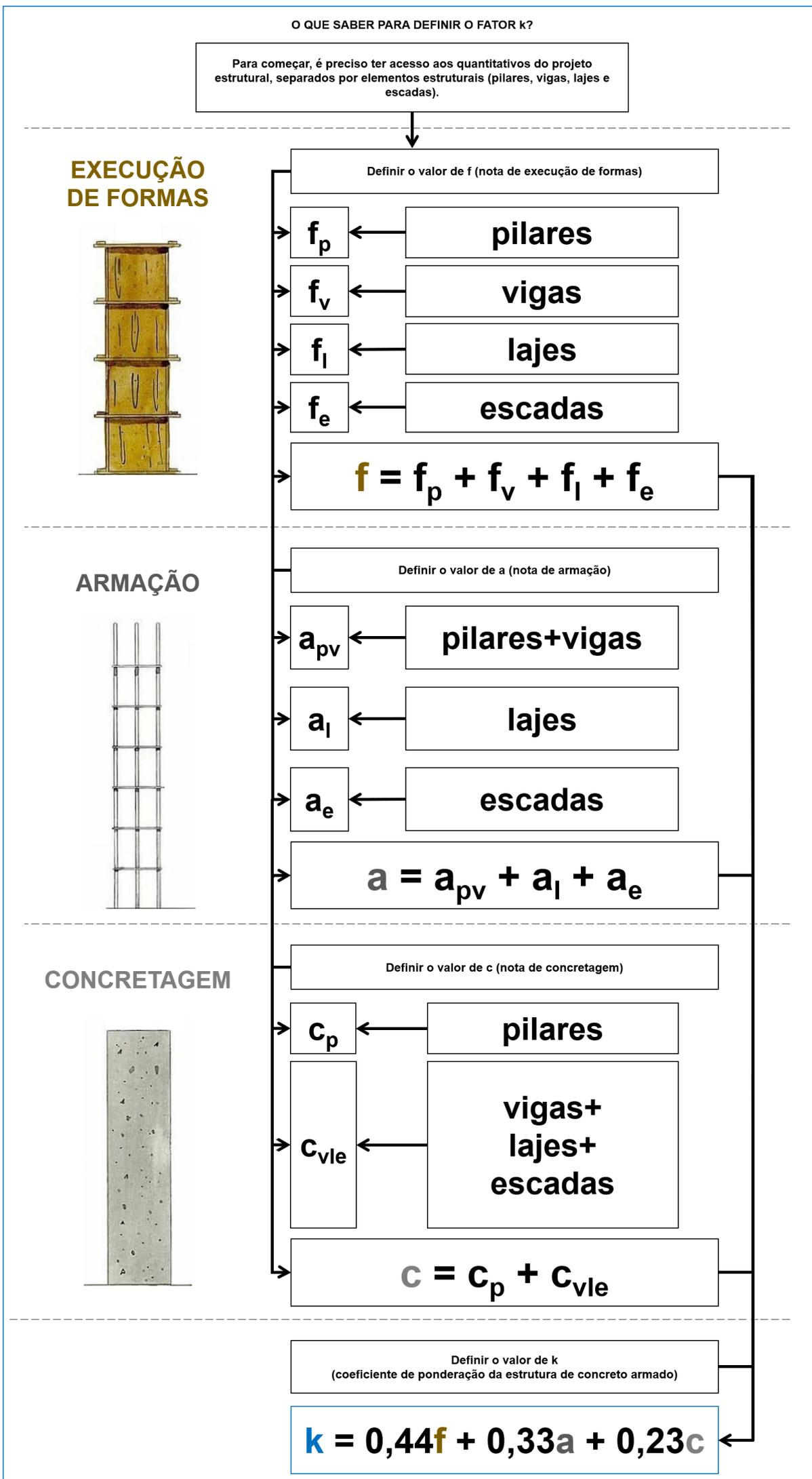
O primeiro passo para o cálculo do indicador consiste em definir o sistema construtivo da supraestrutura. Se a estrutura for produzida em **concreto armado moldado *in loco***, deve-se calcular um fator k, pois há muitas variações na demanda de mão de obra nesse tipo de estrutura. Para outros tipos de sistemas estruturais, o cálculo desse fator não é necessário (**clique aqui** para pular, caso esteja calculando o indicador para outro sistema estrutural).

O fator k considera os três grandes grupos de serviços necessários a uma estrutura de concreto armado: execução de formas, armação e concretagem. Também é dividido pelos elementos estruturais: pilares, lajes, vigas e escadas.

São apresentadas parcelas do fator k que envolvem características uniformes, como uma única bitola de armadura. Como essa não é a condição em obra, é necessário **fazer média ponderada** pela representatividade de cada tipo de armadura. Isso pode ser feito utilizando os quadros de armaduras presentes nos projetos estruturais. Volumes de concreto e áreas de formas, que são quantitativos comuns nesses projetos, também são dados importantes facilmente identificáveis.

A definição do fator k segue o roteiro apresentado na Figura 27. Após a leitura desse roteiro, a consulta das parcelas que compõem esse fator é guiada pelos *hiperlinks* do Quadro 15.

Figura 27 - Definição do fator k para estruturas de concreto armado moldadas *in loco*



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)¹³

¹³ Ilustrações de forma, armadura e peça concretada adaptadas de RODRIGUES, Maristela. @arquitetapage. Disponível em: <https://www.instagram.com/arquitetapage/?hl=pt-br>. Acesso em: 18 maio 2020.

Quadro 15 - Parcelas do fator k

Serviço	Elemento(s) estrutural(is)	Parcela	Onde encontrar? (Clique sobre o nome dos quadros para acessar)
Execução de Formas	Pilares	f_p	Quadro 22
	Vigas	f_v	Quadro 23
	Lajes	f_l	Quadro 24
	Escadas	f_e	Quadro 25
Armação (corte e dobra em canteiro)	Pilares + Vigas	a_{pv}	Quadro 26
	Lajes	a_l	Quadro 27
	Escadas	a_e	Quadro 28
Armação (pré-cortada e pré-dobrada)	Pilares + Vigas	a_{pv}	Quadro 29
	Lajes	a_l	Quadro 30
	Escadas	a_e	Quadro 31
Concretagem	Pilares	c_p	Quadro 32
	Vigas + Lajes + Escadas	c_{vle}	Quadro 33

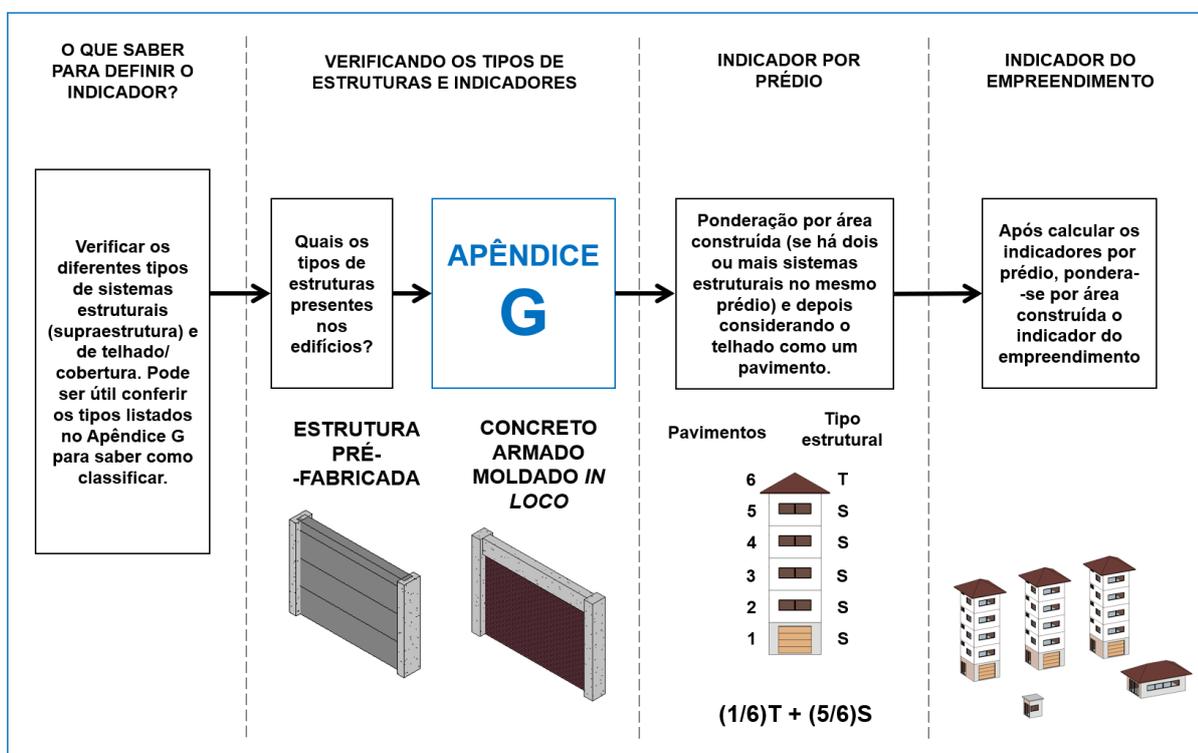
Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Após o cálculo do fator k, exclusivo para estruturas de concreto armado moldado *in loco*, deve-se seguir o roteiro de cálculo presente na Figura 28. Nele, esse sistema estrutural e todos os demais devem ser considerados.

Dentro de um mesmo edifício, pode ou não haver variações no sistema estrutural – todos os pavimentos ou toda a área construída podem ser em um mesmo sistema (por exemplo, alvenaria estrutural) ou haver um pavimento ou trecho com outro sistema (como um pavimento superior com estrutura metálica). No caso de mais de um sistema estrutural, é preciso ponderar indicadores entre esses sistemas, considerando

área construída, e o telhado, com área equivalente a um pavimento. Se há apenas um sistema estrutural, ocorre apenas a ponderação de sistema estrutural e telhado.

Figura 28 - Definição do indicador de uso de mão de obra no sistema estrutural



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Conforme indicado na Figura 28, deve-se consultar o Apêndice G para o cálculo desse indicador ([clique aqui para acessar](#)).

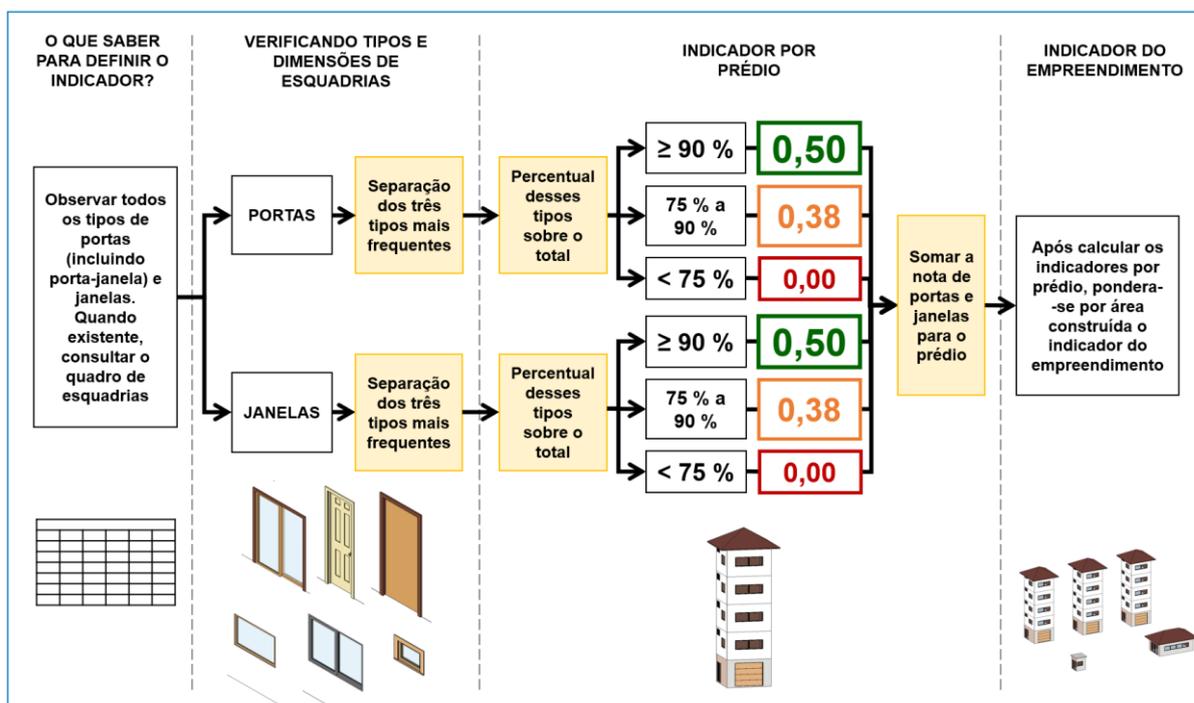
4.3.12 Índice de repetição de esquadrias

O índice de repetição de esquadrias pontua o grau de padronização de esquadrias do tipo porta, porta-janela e janela. Não devem ser consideradas como esquadrias, no cálculo desse indicador, brises pré-fabricados, grades ou parapeitos de sacadas.

A Figura 29 apresenta o roteiro de cálculo desse indicador. Para estabelecê-lo, pode ser utilizado o quadro de esquadrias presente nas pranchas de projetos arquitetônicos ou gerado automaticamente em modelos BIM, após configurações de *software*. Também é possível a contagem de esquadrias em projetos arquitetônicos que contenham medidas de vãos na própria prancha, mas é necessário saber previamente quando vãos iguais abrigam esquadrias diferentes (por exemplo: três vãos de

1,50 m x 1,20 m em um apartamento, sendo duas janelas de abrir e uma janela basculante, contarão como dois tipos diferentes de janelas). Duas esquadrias similares, mas com dimensões diferentes, também contarão como dois tipos de esquadrias.

Figura 29 - Definição do índice de repetição de esquadrias



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

No caso em que todo o empreendimento seja modelado em conjunto e a listagem de esquadrias tenha sido realizada agrupada, o cálculo do indicador pode ser feito diretamente para o empreendimento. Caso contrário, é necessária média ponderada para o indicador final, da mesma forma que nos demais indicadores.

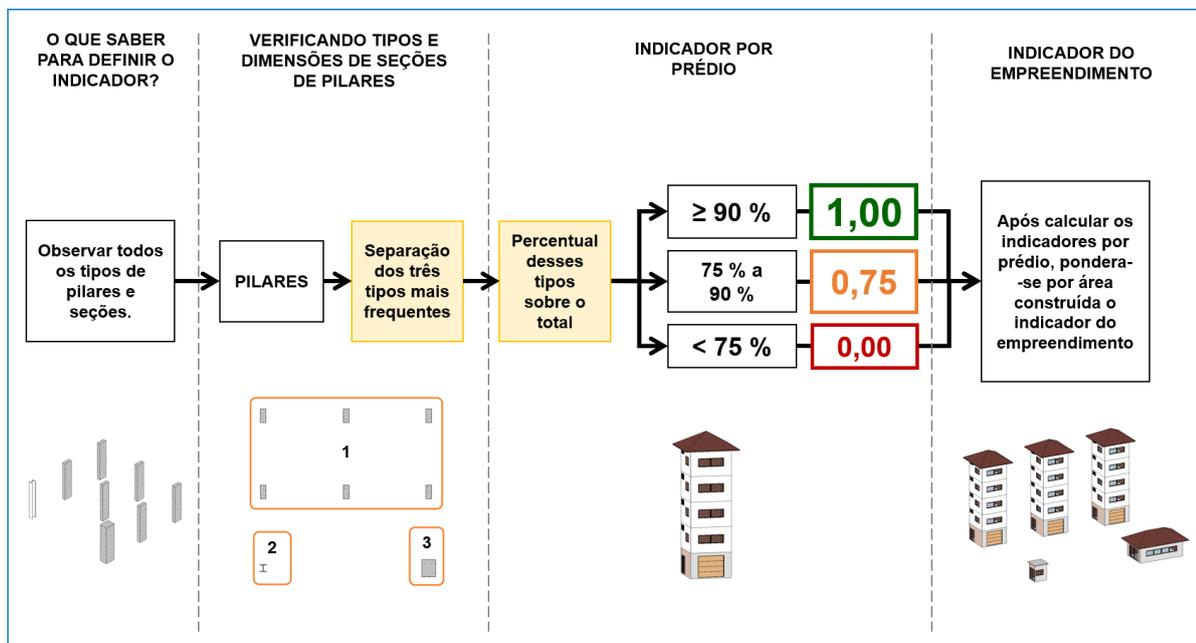
4.3.13 Índice de repetição de seções de pilares

O índice de repetição de seções de pilares é válido para todos os empreendimentos que envolvam sistemas construtivos que utilizem esse tipo de elemento estrutural. Para paredes de concreto armado ou alvenaria estrutural, [clique aqui](#) para publicar.

A Figura 30 apresenta o roteiro de cálculo para esse indicador. As seções estruturais podem ser obtidas nas pranchas de projetos estruturais ou em listagens progra-

madadas em *software* BIM. Duas seções estruturais iguais de materiais estruturais diferentes (condição excepcional, mas que pode vir a ocorrer) contam como duas tipologias distintas.

Figura 30 - Definição do índice de repetição de seções de pilares



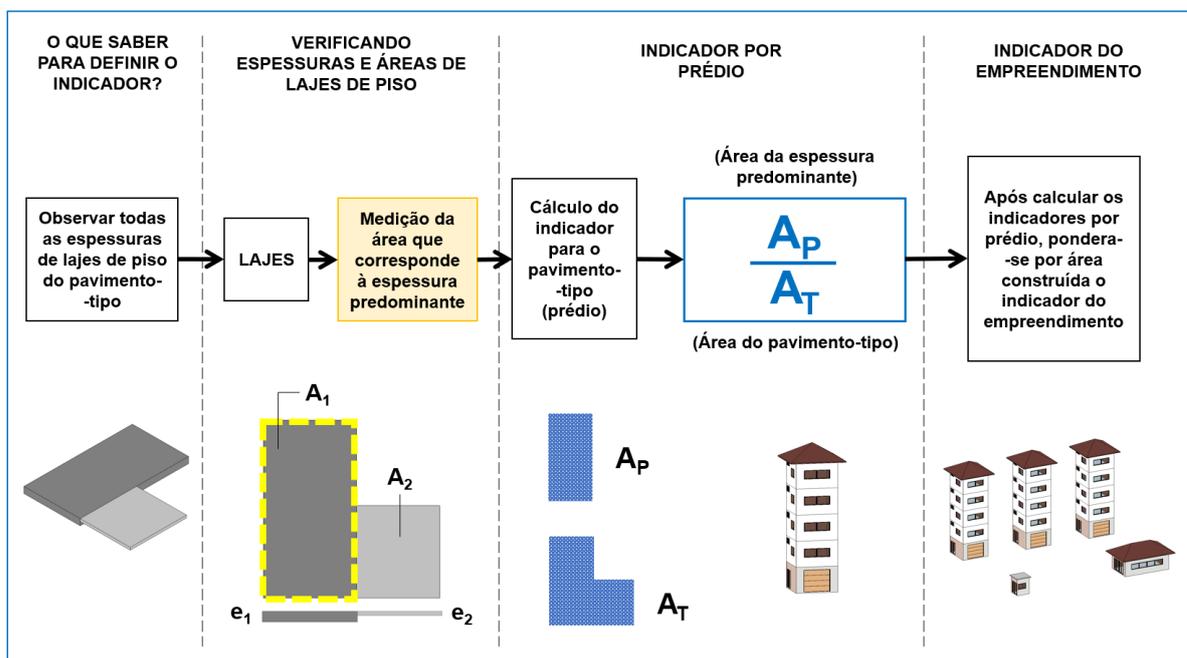
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

4.3.14 Índice de repetição de espessuras de lajes

Existe a possibilidade, principalmente em lajes maciças de concreto armado, de variação de espessura, com dimensionamento de acordo com vãos e cargas previstas. Entretanto, tal condição piora a construtibilidade do empreendimento. A Figura 31 apresenta o roteiro de cálculo desse indicador, que leva em consideração as áreas de lajes com espessuras diferentes no pavimento-tipo, sempre considerando a laje de piso, quando existir.

Para as edificações térreas, em caso de utilização de aterro e contrapiso, não se deve calcular o indicador respectivo. Nesse caso, também não pode ser contada a área da edificação na ponderação de notas para o empreendimento. Edificações térreas só contam quando possuírem laje de piso.

Figura 31 - Definição do índice de repetição de espessuras de lajes

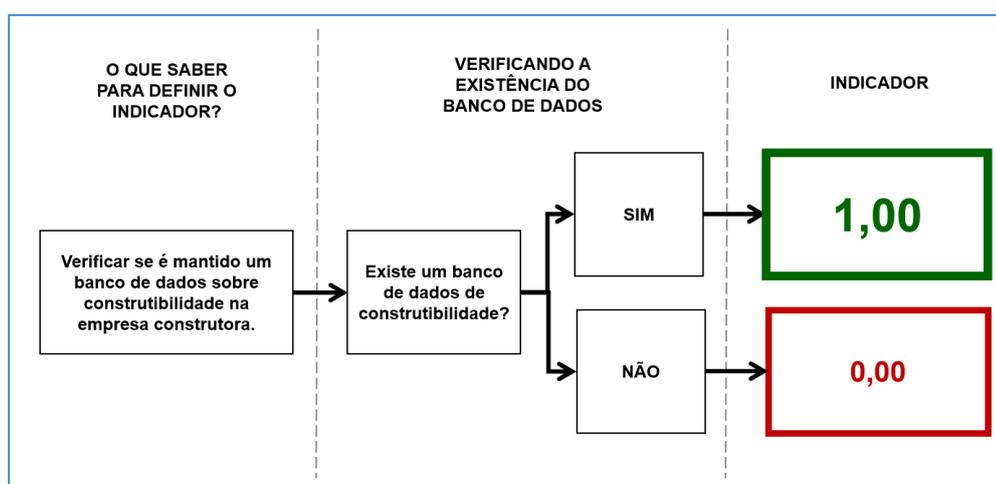


Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

4.3.15 Banco de dados sobre construtibilidade

Este é um indicador qualitativo que pontua a existência ou não de um banco de dados qualitativos sobre construtibilidade, como mostra a Figura 32.

Figura 32 - Definição do indicador de banco de dados sobre construtibilidade



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Esse indicador pontua a existência desse banco de dados qualitativos, e não a forma ou estrutura do mesmo. É importante que seja mantido pelos profissionais relacionados à execução, subsidiando as decisões de projetistas e coordenadores de projeto.

4.4 INDICADORES DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

4.4.1 Distância dos fornecedores e custo de transporte

O indicador qualitativo de distância dos fornecedores e custo de transporte pontua aspectos relacionados ao local de implantação do empreendimento (Figura 33).

Figura 33 - Definição do indicador de distância dos fornecedores e custo de transporte



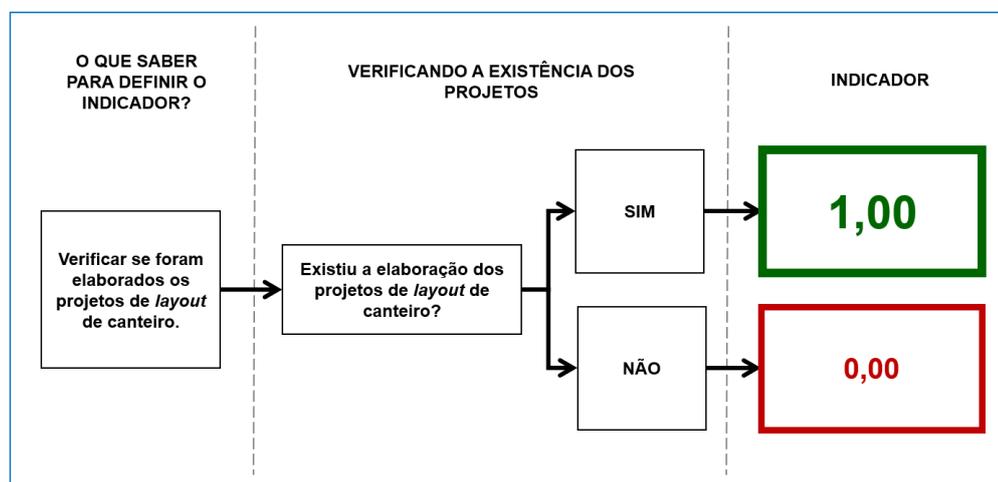
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Para atribuir a pontuação, deve-se avaliar se a localização inviabiliza a adoção de soluções de maior construtibilidade, tais como estruturas pré-fabricadas ou aço pré-cortado e pré-dobrado, por exemplo. A inviabilidade pode ocorrer tanto em meio rural, como em municípios de pequeno porte, onde custos de transporte são mais elevados, ou é necessária a montagem de estruturas mais robustas de produção no próprio canteiro, ou ainda em meios urbanos onde as ruas sejam muito estreitas para a passagem dos caminhões contendo as peças pré-fabricadas. Essa é uma condição que está atrelada ao local de implantação do empreendimento, não havendo a possibilidade de mudanças por questões de mercado, entretanto, a condição local e seus impactos à construtibilidade são relevantes para análise de empreendimentos concluídos.

4.4.2 Projeto de *layout* de canteiro

A Figura 34 apresenta o roteiro para definição deste indicador:

Figura 34 - Definição do indicador de projeto de *layout* de canteiro



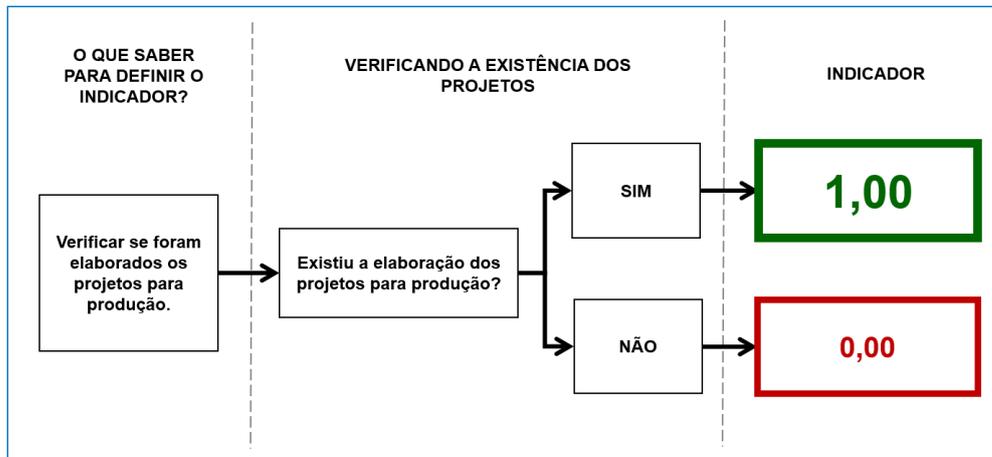
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Os projetos de *layout* de canteiro consideram a evolução do canteiro de obras e as exigências físicas do ambiente de trabalho segundo a Norma Regulamentadora Nº 18 (NR-18). Essa evolução envolve os serviços que serão desenvolvidos no canteiro, estoques e a prevenção de interferências entre os serviços realizados.

4.4.3 Projetos para produção em CAD (essencial) ou como subproduto do BIM

Esse indicador qualitativo avalia a existência ou não de projetos para produção, como indica a Figura 35. Independentemente de modelagem CAD ou BIM, pontua-se a elaboração dos projetos para produção, que são categorias de projeto voltadas à produção, fornecendo informações necessárias e suficientes à execução de um edifício, eliminando decisões subjetivas durante a execução e garantindo qualidade e construtibilidade (BARROS, 1996). Estes são alguns exemplos de projetos para produção:

Figura 35 - Definição do indicador de projetos para produção



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

- *Revestimento cerâmico interno* (paginação, definição do revestimento, prazos e ferramentas, especificação de substrato – chapisco, emboço, impermeabilizante rígido/flexível, argamassa colante e selantes) (SANTOS, 2007).
- *Vedações verticais em alvenaria* (locação de eixos construtivos, planta de primeira e segunda fiadas, paginação de blocos e passagem de instalações em elevação, critérios técnicos de materiais e elementos constituintes) (DUEÑAS PEÑA, FRANCO, 2006).
- *Plantas ou esquemas com metas diárias de trabalho*, podendo haver aplicação de BIM 4D e elaboração de pacotes de trabalho (CORRÊA, 2019).
- *Revestimentos externos de fachada* (especificação de camadas – chapisco, emboço, reboco, massa-única ou emboço-paulista, argamassa colante, revestimento cerâmico, pintura, impermeabilizantes, juntas e telas de reforço; materiais e equipamentos necessários à execução, paginação de revestimentos e variações) (CARRON, 2018).
- *Execução de formas* (plano de reutilização, prazos de execução, definição de elementos por materiais gráficos como plantas e isométricos) (NEIVA NETO, 2014).
- *Laje racionalizada ou laje-zero* (sentido de concretagem em painéis, posicionamento de caixas de passagem de instalações, posição de taliscas ou

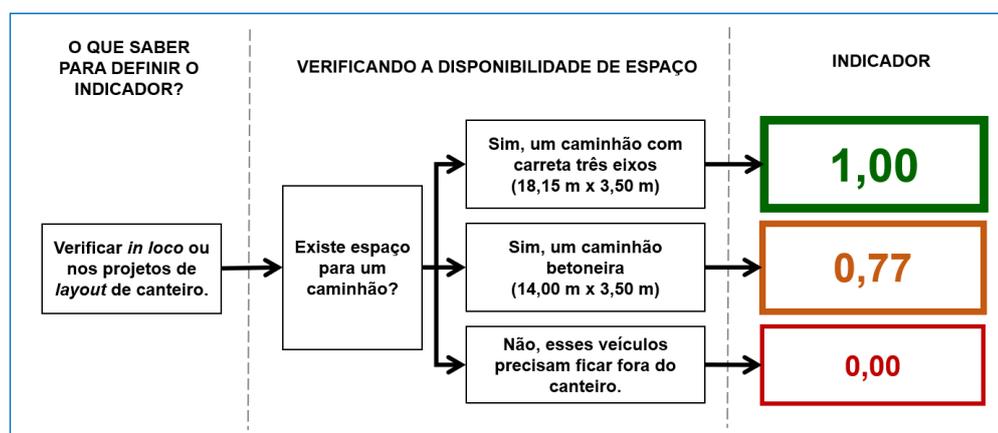
mestras metálicas, caminhos de concretagem – quando se usam jericas) (PIRES, 2016).

Nas modelagens CAD, sua elaboração é fundamental e, pela natureza dos modelos, é gerada de forma independente aos demais desenhos técnicos. Para modelos BIM, pelas características dos modelos, os projetos para produção podem ser subprodutos de modos de visualização devidamente configurados.

4.4.4 Acesso para caminhões (área para um veículo estacionado no interior ou largura para corredor)

O indicador de acesso para caminhões considera a disponibilidade de espaço interno para veículos de carga, conforme indica a Figura 36.

Figura 36 - Definição do indicador de acesso para caminhões



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

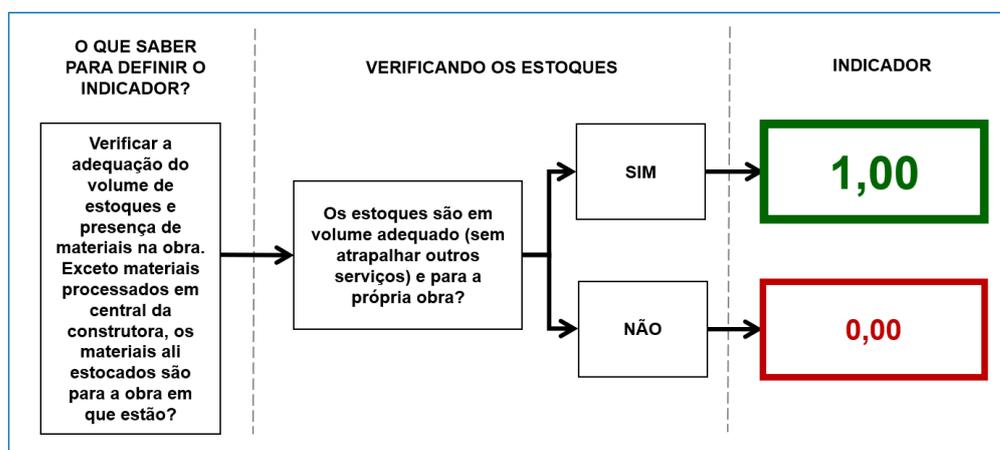
São considerados dois tipos de veículos cujo acesso é necessário em canteiro: caminhão betoneira ou caminhão cavalo eletrônico com carreta simples de três eixos. Para ser contabilizado o indicador, deve haver espaço interno ao canteiro, não vaga de estacionamento em frente à obra, na rua.

4.4.5 Espaços para estoques

A definição desse indicador é apresentada na Figura 37. Estoques não são desejáveis, pois representam demanda de espaço e capital imobilizado, entretanto, para

que não haja interrupções nos serviços realizados, é necessária a reserva de espaço para esse fim.

Figura 37 - Definição do indicador de espaço para estoques



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Nesse indicador, considera-se como condição ideal a presença de estoques no próprio canteiro ou em terreno vizinho locado para esse fim e destinados ao atendimento exclusivo da obra em que se encontram, exceto materiais que sejam processados em centrais das construtoras, se existirem. Estoques excessivos de materiais, destinando-se à própria obra ou a obras vizinhas de uma mesma construtora, que demandem transporte ao local onde ocorrerá a obra, não são pontuados.

4.5 INDICADORES DE EXECUÇÃO

4.5.1 Canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs

O indicador de canteiro organizado e presença de equipamentos de proteção individual e coletiva (EPIs/EPCs) avalia os dois itens mencionados em seu nome, como explica a Figura 38. Essa avaliação deve ser realizada de forma qualitativa, com análise realizada pelo avaliador. Se desejado, pode-se considerar critérios como ausência de histórico de acidentes de trabalho ou atendimento às normas regulamentadoras como critério para conferir a nota máxima. Por simplicidade, não se considerou notas intermediárias, sendo possível aprimoramento futuro do SICC. Se o avaliador considerar adequado, pode adotar nota intermediária de “0,00” a “1,00”, a seu critério.

Figura 38 - Definição do indicador de canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs



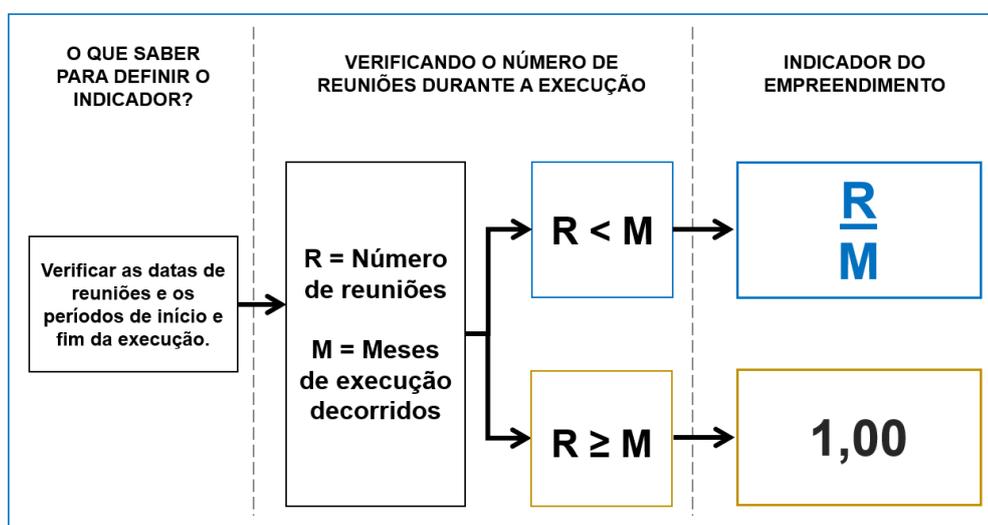
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

A organização de canteiro deve conferir funcionalidade, sem interferências entre atividades, perdas de materiais ou excessivos deslocamentos de funcionários. Os equipamentos de proteção são considerados nessa avaliação qualitativa por permitirem ganhos à saúde do trabalhador e evitarem desde perdas por reduções de equipes, até mortes e interdições de canteiro.

4.5.2 Reuniões mensais de acompanhamento de obra

A realização de reuniões entre equipes de planejamento e de produção a fim de verificar o andamento do empreendimento é aspecto favorável à construtibilidade, sendo pontuada pelo respectivo indicador, com definição demonstrada na Figura 39:

Figura 39 - Definição do indicador de reuniões mensais de acompanhamento de obra



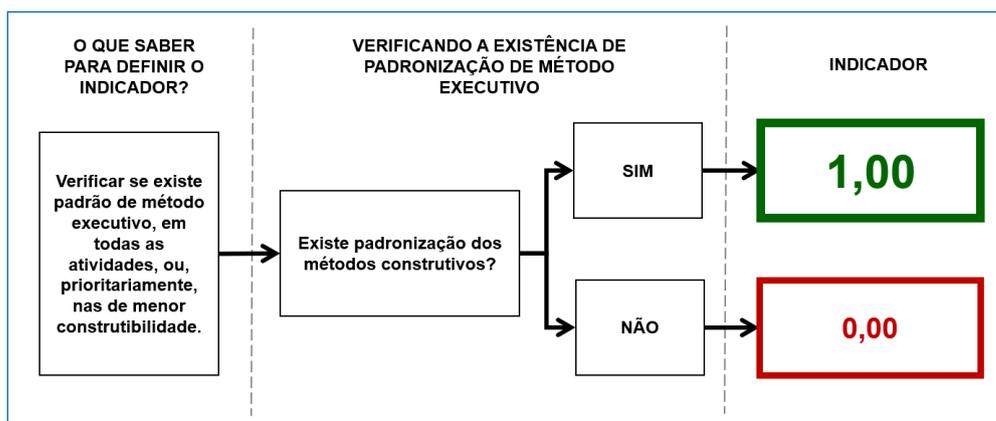
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Há empreendimentos que exigem reuniões em frequência maior do que a mensal (quinzenal ou mesmo semanal), haja vista as restrições de prazo de entrega. Em contraponto, verificou-se pelo *survey* que o nível mínimo adequado seria a periodicidade mensal, sendo considerada como valor ótimo. Maior frequência em reuniões não recebe pontuação extra.

4.5.3 Padronização (método executivo), principalmente para elementos de baixa construtibilidade

A Figura 40 apresenta o roteiro de definição do indicador de padronização do método executivo. Essa padronização consiste em manter um mesmo modo de execução, pela equipe operacional, visando um mesmo resultado.

Figura 40 - Definição do indicador de padronização de método executivo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Em algumas certificações, como o PBQP-H, essa padronização é requerida, para que se mantenha a mesma qualidade do produto. Em elementos de baixa construtibilidade (como banheiros ou corredores estreitos, instalações em mochetas, prismas de ventilação, instalações em telhados ou casas de máquinas, escadas, dentre outras) é altamente necessária.

4.6 INDICADOR GERAL DE CONSTRUTIBILIDADE

O indicador geral de construtibilidade (IC) é composto por todos os indicadores expostos neste capítulo, agrupados em uma fórmula matemática, funcionando como mecanismo de avaliação da construtibilidade de um empreendimento de construção. Esse indicador geral considera desde a concepção até a etapa de execução.

Além do indicador geral de construtibilidade, são definidos outros três indicadores relativos aos três grandes grupamentos de indicadores apresentados nesta pesquisa: indicador parcial de construtibilidade de *design* do produto (IPD), indicador parcial de construtibilidade de planejamento da produção (IPP) e indicador parcial de construtibilidade de execução (IPE). A formulação matemática é similar, e permite avaliações parciais da construtibilidade, de acordo com o estágio em que o empreendimento se encontra.

4.6.1 Método de cálculo

Para a definição do indicador geral e dos indicadores parciais de construtibilidade, deve-se aplicar a equação (8):

$$I' = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot I_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i)} \quad (8)$$

Onde:

- I' = Indicadores parciais (IPD, IPP ou IPE) ou indicador geral de construtibilidade (IC).
- P_i = peso de um indicador i .
- I_i = valor de um indicador i .
- n = número de indicadores agregados nos indicadores parciais ou geral.

Para cálculo do indicador geral, a equação (8) é aplicada com $n = 23$, ou seja, com todos os indicadores. Já para os indicadores parciais, devem ser considerados apenas os indicadores relativos, sendo $n = 15$ para o IPD, $n = 5$ para o IPP e $n = 3$ para o IPE. Para todos, a formulação consiste na soma dos produtos entre pesos e indicadores, dividida pelo somatório de todos os pesos. Caso seja desconhecido o valor de algum indicador, deve ser atribuído zero.

Para a definição de IC, IPD, IPE e IPP, deve-se consultar as informações do Quadro 16:

Quadro 16 – Pesos e indicadores para cálculo dos indicadores parciais e indicador geral

Indicadores parciais e geral	Indicadores (I _i)	Peso (P _i) ¹⁴	Onde encontrar? ¹⁵		
IC	IPD	Desenvolvimento dos projetos	3,99	4.3.1	
		Uso de plataforma de nuvem	3,75	4.3.2	
		Relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo	3,52	4.3.3	
		Área construída dos pavimentos-tipo em relação à área total construída	4,06	4.3.4	
		Coordenação de projetos	4,68	4.3.5	
		Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias	3,40	4.3.6	
		Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar	4,48	4.3.7	
		Qualidade na representação	3,30	4.3.8	
		Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas	4,72	4.3.9	
		Meio de transporte vertical	4,65	4.3.10	
		Uso de mão de obra no Sistema estrutural	4,61	4.3.11	
		Índice de repetição de esquadrias	4,53	4.3.12	
		Índice de repetição de seções de pilares	Sistema construtivo com pilares	4,36	4.3.13
			Sistema construtivo sem pilares	0,00	
		Índice de repetição de espessuras de lajes	4,05	4.3.14	
	Banco de dados sobre construtibilidade	2,94	4.3.15		
	IPP	Distância dos fornecedores e custo de transporte	3,56	4.4.1	
		Projeto de <i>layout</i> de canteiro	4,01	4.4.2	
		Projetos para produção	3,93	4.4.3	
		Acesso para caminhões	3,98	4.4.4	
		Espaço para estoques	3,90	4.4.5	
	IPE	Canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs	4,40	4.5.1	
		Reuniões mensais de acompanhamento de obra	4,22	4.5.2	
Padronização de método executivo		2,50	4.5.3		

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Pode-se verificar no Quadro 16 que os pesos para cada indicador são válidos para todos os sistemas construtivos, exceto no indicador de padronização de pilares, que é desconsiderado quando é avaliada a construtibilidade de edificações que não possuem esse elemento estrutural, ou o mesmo não é representativo: alvenaria estrutural (que possui pilaretes de canto nos vãos dos blocos) ou paredes de concreto armado, por exemplo. Todos os demais indicadores são válidos para todos os sistemas construtivos.

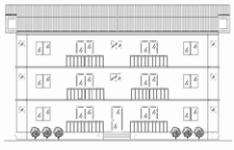
¹⁴ Pesos definidos pela equação 7.

¹⁵ Clique sobre o número dos itens para acessar.

4.6.2 Empreendimentos concluídos avaliados pelos indicadores individuais, parciais e indicador geral de construtibilidade

Para comparações usando os indicadores parciais IPD, IPP e IPE, e o indicador geral IC, considera-se maior construtibilidade associada a uma maior nota, variando de 0 a 100 %. Nessa pesquisa, realizou-se a comparação da construtibilidade entre três empreendimentos com as seguintes tecnologias construtivas: estrutura de concreto armado moldado *in loco*, alvenaria estrutural e paredes de concreto armado (Quadro 17).

Quadro 17 - Indicadores de construtibilidade (versão definitiva do sistema)

Empreendimento			Nota [%]
	Estrutura em Concreto Armado	Indicador geral de construtibilidade (IC)	68,13
		Indicador parcial de <i>design</i> do produto (IPD)	66,97
		Indicador parcial de planejamento da produção (IPP)	59,03
		Indicador parcial de execução (IPE)	100,00
	Alvenaria Estrutural	Indicador geral de construtibilidade (IC)	80,11
		Indicador parcial de <i>design</i> do produto (IPD)	83,80
		Indicador parcial de planejamento da produção (IPP)	79,31
		Indicador parcial de execução (IPE)	100,00
	Parede em Concreto Armado	Indicador geral de construtibilidade (IC)	78,04
		Indicador parcial de <i>design</i> do produto (IPD)	80,23
		Indicador parcial de planejamento da produção (IPP)	79,72
		Indicador parcial de execução (IPE)	100,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

As características dos empreendimentos são descritas no item 3.5.3. Todos os empreendimentos avaliados envolvem residenciais multifamiliares, padrão popular, com blocos de até quatro pavimentos. Após uma avaliação com uma versão preliminar do sistema de indicadores e o processo de validação, todos os empreendimentos foram novamente avaliados pela versão definitiva do SICC, considerando, neste último caso as alterações propostas pelos especialistas.

4.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os especialistas consultados, durante a etapa de validação, expressaram a expectativa de que houvesse maior construtibilidade nos empreendimentos com sistemas em alvenaria estrutural e paredes de concreto armado em relação ao empreendimento em estrutura de concreto armado convencional. Tanto na versão preliminar, como definitiva, essa expectativa se confirmou, como se observa no Quadro 17.

Entretanto, era esperado pelo(a) especialista LC que fosse maior a distância entre as avaliações de indicador geral IC obtidas pelo empreendimento em concreto armado convencional e os demais métodos construtivos. Também foi indicada a percepção de que o indicador de uso de mão de obra no sistema estrutural (Apêndice G) deveria pontuar mais alvenaria estrutural do que concreto armado convencional.

Em relação ao indicador de uso de mão de obra no sistema estrutural, este trabalho realizou o aprimoramento da escala proposta por Singapura (2017), considerando todas as características envolvidas com as estruturas de concreto armado, por meio do fator k , corrigindo a distorção observada pelo(a) especialista. Dessa forma, ao analisar sistemas construtivos, de forma isolada, verifica-se as diferenças esperadas entre esses sistemas.

Para a análise específica de uso de mão de obra no sistema estrutural (supra-estrutura e telhado), os indicadores foram de “0,35” para o empreendimento em estrutura de concreto armado, “0,46” para o empreendimento em alvenaria estrutural e “0,86” para o empreendimento em paredes estruturais de concreto armado. Nessa análise, percebe-se que alvenaria estrutural recebe avaliação superior, mas ainda demanda elevado consumo de mão de obra, recebendo menor avaliação de construtibilidade em relação ao sistema estrutural do empreendimento em paredes de concreto armado.

Já quando os empreendimentos são analisados como um todo, as tecnologias construtivas que envolvem maior racionalização e industrialização levaram a maiores índices de construtibilidade, mas só a tecnologia construtiva não define todo o empreendimento, caso contrário, não seria necessário todo um sistema de avaliação, mas uma escala entre tecnologias. Essa característica do sistema de avaliação reflete condições necessárias à maior construtibilidade, desde simplificações de *design* à melhoria do processo construtivo.

Não se realizou, neste trabalho, um comparativo de construtibilidade apenas entre empreendimentos de mesma tecnologia construtiva racionalizada, ou todos racionalizados, com o intuito de verificar se seriam nítidas, ou não, as diferenças observadas. Tomando outro estudo como exemplo, Heineck (1983) verificou que, mesmo sendo tecido um comparativo entre empreendimentos executados com tecnologias racionalizadas, a tecnologia construtiva em si apresenta-se como um dos fatores dentre todos os que influem a construtibilidade, e se esses fatores não forem adequadamente desenvolvidos, perdem-se os potenciais benefícios da racionalização.

Dentre os três empreendimentos avaliados pelo SICC, verifica-se que aqueles em alvenaria estrutural e paredes de concreto armado possuem avaliação similar. O empreendimento em alvenaria estrutural possui maior pontuação, dentre outros fatores, por possuir projetos para produção (plantas de fiadas ou elevações com paginação de assentamento), condição obrigatória para sua realização – foi o único empreendimento com essa característica. Simulando uma condição onde o projeto para produção não fosse realizado, o IC seria 4,50 % inferior, e o projeto em paredes de concreto armado possuiria o maior indicador geral.

Algumas características não estiveram presentes em nenhum dos projetos avaliados, dentre as quais se pode citar a utilização de modelagens em BIM, ou seja, no indicador respectivo, ambos os empreendimentos foram avaliados da mesma maneira. Mesmo existindo um empreendimento recente (de 2019), reflete-se a ainda predominância das modelagens CAD e suas limitações.

Outras características, por sua vez, estavam presentes em todos os empreendimentos, levando a pontuações mais elevadas. Uma delas é a disponibilidade de espaço em canteiro, pois eram empreendimentos com mais de um bloco e espaços de lazer e circulação internos previstos. Com isso, a construtibilidade era facilitada, pois não existiam as interferências possíveis quando há restrições de espaço, como em empreendimentos em áreas centrais, com ocupação máxima de terreno. Também não se verifica a presença de elementos curvos em nenhum dos empreendimentos.

Considerando-se as otimizações entre área e perímetro, favoráveis à construtibilidade, o indicador isolado não reflete os indicadores gerais. Nesse aspecto, a edificação principal do projeto (bloco residencial) em paredes de concreto armado possui indicador 0,86, enquanto a respectiva edificação em alvenaria estrutural possui indicador 0,61.

Diante das similaridades e diferenças existentes entre os empreendimentos, verifica-se que não há uniformidade das condições de maior construtibilidade em um único empreendimento, sendo o indicador geral IC a melhor forma de análise e comparativo, por considerar vários desses fatores em conjunto, com relevância dada pelos respectivos pesos. Não se deve considerar, apenas, a tecnologia construtiva como fator definitivo, sem considerar outras condições que propiciem maior construtibilidade, apontadas pelo sistema de indicadores proposto por este trabalho.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa cumpre com o objetivo de definir um sistema de indicadores de construtibilidade, o SICC, destinado à análise e comparação de empreendimentos de construção civil de residenciais multifamiliares, por meio de um indicador global de construtibilidade IC. Os indicadores, de forma individual, também permitem a melhoria da construtibilidade para empreendimentos futuros, servindo para balizar o projeto executivo. Ao longo de todo o capítulo de resultados, foi explanado o método de cálculo de cada indicador, dos indicadores parciais e do indicador geral de construtibilidade, utilizando-se, especificamente nesse capítulo, linguagem direta, destinada à leitura de profissionais diversos de construção civil.

Para o atendimento ao objetivo geral, foi necessário o atendimento aos objetivos específicos. Durante o processo de revisão bibliográfica, foram levantados aspectos que interferem na construtibilidade de empreendimentos de construção, bem como foram verificados outros exemplos de sistemas de avaliação de construtibilidade, observando-se sua estrutura matemática e método de definição. Com isso, cumpriram-se os objetivos específicos (ii) e (iii).

Conhecidos os fatores que afetam a construtibilidade, buscou-se defini-los na forma de indicadores (objetivos (i) e (v)) e estabelecer sua escala (vi). Quando existe a avaliação da construtibilidade de empreendimentos de construção como um todo, verificou-se que não há um único fator que afeta a construtibilidade, e que cada um deles afeta o todo de forma diferenciada. Assim, realizou-se a definição de pesos (objetivo específico (iv)), com o auxílio de mais de cento e cinquenta profissionais atuantes em todo o país, e especialistas consultados durante a etapa de validação.

Diante das delimitações apresentadas (item 1.3) e do método adotado, podem ser listadas algumas limitações deste trabalho. Uma delas é a utilização desse sistema de indicadores, que em outros padrões construtivos ou tipos de empreendimentos dependerá de estudos específicos, ou mesmo da inserção de novos indicadores e da definição de seus pesos.

Este trabalho não aborda a construção dos bancos de dados qualitativos de construtibilidade, devendo ser consultadas outras pesquisas sobre o tema para sua implementação, como a de Silva (2018). A definição de um banco de dados quantitativo, com séries de indicadores e empreendimentos, pode ser realizada com as avaliações advindas do SICC.

Não são considerados critérios relacionados a uso, operação e manutenção das edificações, devido à delimitação do conceito de construtibilidade aqui adotado (da concepção à execução). Outra limitação de análise se refere a alguns itens presentes em sistemas similares no exterior, que não puderam ser considerados, por não serem comuns no mercado brasileiro (como *kits* com banheiros prontos, por exemplo).

A amostragem adotada não foi probabilística, por depender da disponibilidade de profissionais em responder ao *survey*. Buscou-se contato com profissionais relacionados à execução de edificações em todo o país, mas a distribuição espacial ou por formação de respondentes dependeu dessa disponibilidade também.

No sistema de indicadores de construtibilidade proposto por este trabalho, foram criados indicadores específicos, ou realizados aprimoramentos para indicadores existentes, tornando-os mais abrangentes e corrigindo distorções – que envolvem demandas de mão de obra no sistema estrutural ou nas vedações verticais – advindos do BDAS. Como exemplos, pode-se citar o aumento do espectro de avaliação de estruturas de concreto armado, por meio do fator k , ou a análise por figura ótima construtiva de perímetro do pavimento-tipo, dentre outros.

Outro aprimoramento importante, em relação aos sistemas de indicadores de construtibilidade internacionais, é a maior abrangência de aspectos analisados, passando do conceito *buildability* ao *constructability*. Dentro desse aprimoramento, são considerados aspectos de produção, como disponibilidade de espaço em canteiro.

Com a definição de um sistema de indicadores preliminar, avaliaram-se três empreendimentos com tecnologias construtivas distintas (estrutura de concreto armado convencional, alvenaria estrutural e paredes em concreto armado). Durante essa avaliação, o autor colocou-se na posição de utilizador e coletou os dados possíveis na leitura de pranchas e materiais fornecidos, contatando profissionais envolvidos com as empresas executoras para a complementação de informações e definição completa do grupo de indicadores, chegando aos ICs de cada empreendimento.

Posteriormente, com a validação por protocolos verbais, o sistema de indicadores foi ajustado, pela adequação de pesos e de alguns indicadores. Por fim, novamente foi calculado o IC para cada empreendimento. Observou-se maiores indicadores gerais (o que no sistema equivale à maior construtibilidade) naqueles com tecnologias construtivas mais racionalizadas em relação às estruturas de concreto armado

moldado *in loco*. Entretanto, é importante salientar que a avaliação de empreendimentos não deve se confundir com a avaliação de construtibilidade do sistema estrutural em si, que possui indicador específico.

A própria estrutura e concepção de um sistema de indicadores de construtibilidade existe buscando avaliar os vários fatores que afetam a construtibilidade e fornecer um panorama. Nos empreendimentos avaliados, observa-se que algumas características levaram a maiores indicadores em um ou outro empreendimento que não obteve o maior IC, não se devendo tirar conclusões por um indicador individual e extrapolar a todo o empreendimento.

O sistema de indicadores de construtibilidade proposto nesta pesquisa, o SICC, é útil a: profissionais de AEC envolvidos em projeto e execução (para melhoria da construtibilidade de empreendimentos futuros); às empresas que realizem a construção de edificações residenciais multifamiliares voltadas a prédios padrão popular (para análises pré e pós-empreendimento), bem como aos órgãos públicos de fomento a este tipo de construção (como possível critério de seleção de destinação de recursos). Após sua concepção, passou por aprimoramento, a fim de que pudesse atingir essa finalidade, porém, novos aprimoramentos ainda se fazem necessários e motivarão novos estudos futuros, como os seguintes:

- Desenvolvimento de uma interface virtual (aplicativo, planilha com macros, *website*) para avaliação expedita com base no sistema de indicadores gerado por esse trabalho, dispensando seu cálculo de modo manual. Pode-se construir algoritmos para extrair dados de modelos BIM.
- Estudo para definição de indicadores pós-construção, incluindo um indicador parcial de construtibilidade de vida útil.
- Definição de limites mínimos de referência para indicadores parciais ou indicador geral de construtibilidade.
- Acréscimo ao IPE e à categoria de indicadores de execução de um indicador qualitativo relacionado à motivação e treinamento de mão de obra, com o favorecimento da construtibilidade pela melhoria das técnicas construtivas e padronização.

- Expansão de alguns indicadores, como o de disponibilidade de espaço em canteiro, pelo acréscimo de novas tipologias, ou criação de uma escala quantitativa específica, quando possível.
- Criação de sistemas de indicadores de construtibilidade para residenciais de médio e alto padrão, residenciais unifamiliares, edificações comerciais, de serviço ou industriais, considerando empreendimentos brasileiros. Para esses empreendimentos, aspectos como personalização, acabamentos e sistemas dos edifícios precisam de análises específicas.
- Realização de um orçamento de cada uma das obras do estudo de caso, com posterior aferição se a obra de melhor construtibilidade também é a de menor custo ou de menor consumo de mão de obra.
- Comparação dos resultados obtidos com a avaliação de projetos em outros sistemas construtivos não abordados nesse trabalho.
- Realização de estudos de caso com um mesmo sistema construtivo e variação de outras características dos empreendimentos, ou estudos de sensibilidade com um mesmo projeto arquitetônico e adoção dos diferentes sistemas construtivos, com verificação da sensibilidade dos indicadores parcial, geral e dos vários outros aspectos ligados à construtibilidade em cada caso estudado.
- Expansão das demais análises realizadas para sistemas estruturais e de vedação, também considerando dados de produtividade do SINAPI.

6 REFERÊNCIAS

AJAYI, Saheed, O.; OYEDELE, Lukumon, O. Critical design factors for minimising waste in construction projects: A structural equation modelling approach. **Resources, Conservation & Recycling**. v.137, p. 302-313, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918302118>. Acesso em 04 fev. 2019.

ALBUQUERQUE, Ana Elisabete Cavalcanti de. **Uma avaliação comparativa entre os métodos Design-build e o Design-bid-build para redução de problemas entre projeto e construção de obras públicas brasileiras**. 2012. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-graduação em Administração, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10182>. Acesso em: 04 fev. 2019.

ALMEIDA, Emanuele Carvalho Oliveira de. **Termo de referência para projetos de edificações públicas: inserção de princípios de sustentabilidade e de projeto simultâneo**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/5005>. Acesso em: 04 fev. 2019.

ALMEIDA, Emanuele Carvalho Oliveira de; MESQUITA, Victor Félix de; SANTOS, Débora de Gois. Identificação e descrição dos tipos de perdas existentes em projetos de empreendimentos públicos devido à falta de construtibilidade: estudo de caso. *In*: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 3, 2013, Campinas-SP. **Anais [...]**. Campinas: ANTAC, 2013. p. 657-670.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) - Construction Management Committee of the ASCE Construction Division. Constructability and constructability programs: white paper. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.117, n.1, p. 67-89, 1991. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%281991%29117%3A1%2867%29>. Acesso em 01 fev. 2019.

ARAÚJO, Luís Otávio Cocito de. **Método para a previsão e controle da produtividade da mão-de-obra na execução de fôrmas, armação, concretagem e alvenaria**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6492: Representação de projetos de arquitetura**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520: Informação e documentação — Citações em documentos — Apresentação**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios — Procedimento — Versão Corrigida 2**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: Informação e documentação — Trabalhos Acadêmicos — Apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho; Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10719: Informação e documentação — Relatório técnico e/ou científico — Apresentação**. Rio de Janeiro, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação - Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2018.

BACHMANN, Cristiane de Paula. **Gestão de obras públicas: um estudo de caso na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM**. 2017. Dissertação (Mestrado em Gestão de Organizações Públicas) – Programa de Pós-graduação em Gestão de Organizações Públicas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12516>. Acesso em: 04 fev. 2018.

BARBOSA, Patrícia Elizabeth Ferreira Gomes. **Uma contribuição à análise de medidas de construtibilidade em obras de edificações prediais residenciais em alvenaria estrutural**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=378574. Acesso em: 04 fev. 2019.

BARROS, Mércia Maria Semensato Bottura de. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05072017-090939/pt-br.php>. Acesso em: 17 jul. 2020.

BELLAN, Melissa; FABRICIO, Márcio Minto. Práticas e ferramentas gerenciais de apoio à integração e coordenação de projetos. **Pesquisa em Arquitetura e Construção**. v.1, p. 32-58, 2010. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634494/2415>. Acesso em 23 abr. 2020.

BRANDÃO, Douglas Queiroz; HEINECK, Luiz Fernando Mählmann. Variabilidade de “layouts” X construtibilidade: algumas soluções para promoção da versatilidade espacial em apartamentos. *In*: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7, 1998, Florianópolis-SC. **Anais [...]**. Florianópolis: ANTAC, 1998. p. 207-213.

BRASIL. Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Resolução nº 12, de 12 de outubro de 1988**. CONMETRO [1988]. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/resc/pdf/RESC000114.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.

BRASIL. **Lei Nº 8.666, de 21 de junho de 1993**. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Brasília, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. [1993]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8666cons.htm. Acesso em 08 mar. 2019.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de estudos de tráfego**. - Rio de Janeiro, 2006. 384 p. (IPR. Publ., 723). Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/723_manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 01 mar. 2020.

BRASIL. **Lei Nº 12.462, de 4 de agosto de 2011**. Institui o Regime Diferenciado de Contratações Públicas - RDC. Brasília, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. [2011]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2011-2014/2011/Lei/L12462.htm. Acesso em 25 abr. 2020.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Obras públicas: recomendações básicas para a contratação e fiscalização de obras públicas**. / Tribunal de Contas da União. – 3. ed. Brasília: TCU, SecobEdif, 2013a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria nº 590, de 02 de dezembro de 2013**. INMETRO [2013b]. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002050.pdf>. Acesso em 29 mar. 2019.

BRASIL. Universidade Federal de Santa Catarina. Biblioteca Universitária. **Normalização de trabalhos acadêmicos**. Disponível em: <http://portal.bu.ufsc.br/normalizacao/>. Acesso em 11 dez. 2019.

BOTELHO, Louise Lira Roedel; CUNHA, Cristiano Castro de Almeida; MACEDO, Marcelo. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**. v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011. Disponível em: <https://www.gestoesociedade.org/gestoesociedade/article/download/1220/906>. Acesso em: 16 ago. 2018.

CAIXA. **SINAPI: Custos de Composições Analíticas SC 10/2019**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 19 nov. 2019.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil, volume 1 – relatório completo**. Brasília: CBIC, 2017, 202 p.

CAMPOS, Sérgio Emídio de Azevêdo. **Gestão do processo de projetos de edificações em instituição federal de ensino superior: estudo de caso no CEPLAN/UnB**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/9562>. Acesso em: 01 fev. 2019.

CÂNDIDO, Luís Felipe. **Análise de Sistemas de Medição de desempenho na construção civil: oportunidades de melhoria a partir da literatura e da experiência de construtoras cearenses**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/14687>. Acesso em: 14 ago. 2018.

CARRON, Bruno. **Estudo de caso para implantação de projeto para produção de fachada em uma empresa construtora**. 2018. Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://poliintegra.poli.usp.br/library/pdfs/ea0aef16f316aeab74fa48b7ddc44daf.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2020.

CAVALCANTE, Ronaldo Camara. **Planejamento integrado de manutenção: um modelo de gestão dos projetos de construção e montagem de ativos mais aderentes às necessidades do setor de manutenção**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=3840425. Acesso em: 01 fev. 2019.

CHIANG, Yat-Hung; CHAN, Edwin Hon-Wan; LOK, Lawrence Ka-Leung. Prefabrication and barriers to entry — a case study of public housing and institutional buildings in Hong Kong. **Habitat International**. v. 30, p. 482-499, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397505000172>. Acesso em: 02 fev. 2019.

COELHO, Dilson Machado; BACK, Álvaro José. **Estimativa dos dias parados em obras de engenharia em função da chuva**. 2015. Artigo (Graduação em Engenharia

Civil) – Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/4062>. Acesso em: 16 mar. 2019.

CORDEIRO, Rony Helder Nogueira. **Sistematização do fluxo de informações no processo de projeto de edificações em empresas construtoras e incorporadoras**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/4168>. Acesso em: 04 fev. 2019.

CORRÊA, Cristina Mendes Bertocini; SILVA, Roberta Zumblick Martins da. O regime diferenciado de contratações públicas e um novo panorama licitatório no Brasil. **Revista da ESMESC**. v.23, n.29, p. 315-341, 2016. Disponível em: http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/documentacao_e_divulgacao/doc_bibliotec/a/bibli_servicos_produtos/bibli_informativo/bibli_inf_2006/Rev-ESMESC_29.15.pdf. Acesso em 01 fev. 2019.

CORRÊA, Leonardo de Aguiar. **Método para formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas com o uso do BIM 4D**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337170710_METODO_PARA_FORMULACAO_DE_PACOTES_DE_TRABALHO_PARA_OBRAS_REPETITIVAS_COM_O_USO_DO_BIM_4D. Acesso em: 17 jul. 2020.

COSTA, Dayana Bastos. **Diretrizes para concepção, implantação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas da construção civil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/3457>. Acesso em: 28 ago. 2020.

DAMIÃO, Eduardo Tassi. **Melhoria da produtividade e redução das perdas em concretagens com foco no relacionamento entre construtora e fornecedor de concreto**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

DANTAS, Manuela Modesto. **Proposição de ações para melhoria da produtividade da concretagem em edifícios verticais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DELEGREGO, Victor. **Construtibilidade: lições internacionais e aplicações para o Brasil**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/182014>. Acesso em: 06 mar. 2019.

DEL VECCHIO, Dennis. Absorber Implementation and Constructability Plan. **Power Engineering**. p. 32-34, set. 2011. Disponível em: <http://web-a-ebsohost.ez46.periodicos.capes.gov.br/ehost/detail/detail?vid=2&sid=34c79913-1064-4ee2-81f8-eb949d7d0687%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbm9cHQtYnlmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#AN=66723251&db=aph>. Acesso em 13 fev. 2019.

DOS REIS, Eliete; MAURI, Leodir Löbler. O Processo Decisório Descrito pelo Indivíduo e Representado nos Sistemas de Apoio à Decisão. **Revista de Administração Contemporânea**. v.16, n. 3, p. 397-417, 2012. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84023621005>. Acesso em 17 mar. 2020.

DUARTE, Nayara Pereira; KORELO, José Carlos. A Utilização do Protocolo Verbal *Think Aloud* para Rastreamento de Processos em Pesquisas sobre a Tomada de Decisão do Consumidor. **Revista Brasileira de Marketing**. v. 16, n. 3, p. 317-333, 2017. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/46856/a-utilizacao-do-protocolo-verbal-think-aloud-pa--->. Acesso em 17 mar. 2020.

DUEÑAS PEÑA, Montserrat; FRANCO, Luiz Sérgio. Método para elaboração de projetos para produção de vedações verticais em alvenaria. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. v.1, n.1, p. 126-153, 2006. Disponível em: http://www.revistas.usp.br/gestao_deprojetos/article/view/50896. Acesso em 17 jul. 2020.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ENSSLIN, Leonardo; MONTIBELLER NETO, Gilberto; NORONHA, Sandro Macdonald. **Metodologia para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

FALOTICO, Antonella. The culture of designing and the culture of doing. The digital approach as the innovative dimension of process. **Techne**. v. 13, p. 143-150, 2017. Disponível em: <http://www.fupress.net/index.php/techne/article/view/19740>. Acesso em: 16 ago. 2018.

FONTES, Maria Fernanda Cássia. **Mapeamento e análise do processo de gerenciamento de projetos e obras públicas: um estudo de caso na Universidade Federal de Viçosa - MG**. 1982. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/3784>. Acesso em: 04 fev. 2018.

FREITAS, Henrique; OLIVEIRA, Mírian; SACCOL, Amarolinda Zanela; MOSCAROLA, Jean. O método de pesquisa *survey*. **Revista de Administração**. v.35, p. 105-112, julho-setembro 2000. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/16542/o-metodo-de-pesquisa-survey>. Acesso em 09 mar. 2019.

GARSDEN, B.R. Postconstruction evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.121, n. 1, p. 37-42, 1995. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%281995%29121%3A1%2837%29>. Acesso em 04 fev. 2019.

GERTH, Robert; BOQVIST, Albert; BJELKEMYR, Marcus; LINDBERG, Bengt. Design for construction: utilizing production experiences in development. **Construction Management and Economics**. v. 31, n. 2, p. 135-150, 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446193.2012.756142>. Acesso em: 04 fev. 2019.

GIBSON JR, G.E.; MCGINNIS, C.I.; FLANIGAN, W.S.; WOOD, J.E. Constructability in public sector. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.122, n.3,

p. 274-280, 1996. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%281996%29122%3A3%28274%29>. Acesso em 13 fev. 2019.

GRANSBERG, Douglas D.; WINDEL, Elizabeth. Communicating Design Quality Requirements for Public Sector Design/Build Projects. **Journal of Management in Engineering**. v.24, n.2, p. 105-110, 2008. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290742-597X%282008%2924%3A2%28105%29>.

Acesso em 13 fev. 2019.

HEINECK, Luís Fernando Mählmann. **On the Analysis of the Duration of Activities on Three Housing Building Sites**. 1983. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – University of Leeds, Leeds, 1983.

HERNANDES, Laura Barros Garcia. **Entre o projetado e o construído: uma análise sobre as modificações dos projetos arquitetônicos do campus central da UFRN durante o processo de execução (2008 – 2016)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/23686>. Acesso em: 01 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em síntese – território – densidade demográfica**. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio/densidade-demografica.html>. Acesso em 12 mar. 2020.

JARKAS, Abdulaziz M. Analysis and Measurement of Buildability Factors Affecting Edge Formwork Labour Productivity. **Journal of Engineering Science and Technology Review**. v. 3, n. 1, p. 142-150, 2010. Disponível em: <https://doaj.org/article/d31b9c7682214eea9770a3e9a308e0df>. Acesso em: 01 fev. 2019.

JARKAS, Abdulaziz M. Influence of Buildability Factors on Rebar Installation Labor Productivity of Columns. **Journal of construction engineering and management**. v. 138, n. 2, p. 258-267, 2012. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000425>. Acesso em: 01 fev. 2019.

KANNAN, Ramesh; SANTHI, Helen. Automated constructability rating framework for concrete formwork systems. **Asian Journal of Civil Engineering**. n.19, p. 387-413,

abr. 2018. Disponível em: https://link.springer.com/epdf/10.1007/s42107-018-0026-3?author_access_token=fNDz9MX-YpV-IVZKR55ob_e4RwlQNchNBiy7wbcMAY6xeLhOtJVMh4M4cAHZOQSffFLiJmMzclFKVZhaZNWxRG7Z1dLxziKbSfJ0loHxzG1Na54ZnkJkv5kKXSfgrlwwC4D3ghcbw_pwO5rp36YrVOA%3D%3D. Acesso em: 01 fev. 2019.

KIFOKERIS, Dimosthenis; XENIDIS, Yannis. Constructability: Outline of Past, Present, and Future Research. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.143, n.8, 2017. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001331>. Acesso em: 04 fev. 2019.

KUO, Vincent; WIUM, Jam. The management of constructability knowledge in the building industry through lessons learnt programmes. **Journal of the South African Institution of Civil Engineering**. v. 56, n. 1, p. 20-27, 2014. Disponível em: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102120192014000100003. Acesso em: 01 fev. 2019.

LAM, Patrick T.I.; WONG, Franky W.H.; CHAN, Albert P.C. Contributions of designers to improving buildability and constructability. **Design Studies**. v. 27, n. 4, p. 457-479, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X05000918>. Acesso em: 01 fev. 2019.

LAM, Patrick T.I.; CHAN, Albert P.C.; WONG, Francis K.W.; WONG, Franky W.H. Constructability Rankings of Construction Systems Based on the Analytical Hierarchy Process. **Journal of Architectural Engineering**. v. 13, n. 1, p 36-43, 2007. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291076-031%282007%2913%3A1%2836%29>. Acesso em 02 fev. 2019.

LAM, Patrick T.I.; WONG, Franky W.H. Implementing a Buildability Assessment Model for Buildability Improvement. **Architectural Science Review**. v. 51, n. 2, p 173-184, 2008. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/asre.2008.5121>. Acesso em 14 fev. 2019.

LAM, Patrick T.I.; WONG, Franky W.H.; CHAN, Albert P.C.; CHAN, Daniel W.M. Benchmarking Buildability Using the Buildability Assessment Model in Hong Kong. **HKIE Transactions**. v. 15, n. 1, p. 7-17, 2008. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1023697X.2008.10668104>. Acesso em: 06 fev. 2019.

MACIEL, Marcelo Augusto Costa. **Dificuldades para a implantação de softwares integradores de projeto (BIM) por usuários da cidade de Aracaju/Sergipe**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/5007>. Acesso em: 21 abr. 2020.

MAESTRI, Daniela Pitol. **Avaliação da construtibilidade em edifícios de alto padrão**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/192232>. Acesso em: 06 mar. 2019.

MARANHÃO, George Magalhães. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-23112017-144038/pt-br.php>. Acesso em: 02 fev. 2019.

MARCHIORI, Fernanda Fernandes. **Desenvolvimento de um método para elaboração de redes de composições de custo para orçamentação de obras de edificações**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-08092010-131752/pt-br.php>. Acesso em: 14 mar. 2020.

MASCARÓ, Juan Luís. **O custo das decisões arquitetônicas**. 3. ed. Porto Alegre: JLM, 2004, 180 p.

MBAMALI, I.; AIYETAN, O.A.; KEHINDE, J.O. Building design for buildability: an investigation of the current practice in Nigeria. **Building and Environment**. v. 40, p. 1267-1274, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304003099>. Acesso em: 04 fev. 2019.

MELHADO, Sílvio Burattino. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São

Paulo, 1994. Disponível em: http://www.infohab.org.br/acervos/sobre-autor/codig_oA-utor/217/page/5/codigo_biblio/22547/cod/1. Acesso em: 13 fev. 2019.

NARLOCH, Tamyres Blenke. **Modelo indicador da construtibilidade a partir da análise geométrica do projeto**. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/156886> Acesso em: 14 fev. 2019.

NASCIMENTO, Emílio Lima do. **Aplicação de modelo de colaboração apoiada por tecnologia da informação para projetos de construção civil na prefeitura de São José dos Pinhais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/30034?show=full> Acesso em: 06 mar. 2019.

NAVON. R.; SHAPIRA, A.; SHECHORI, Y. Automated rebar constructability diagnosis. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.126, n. 5, p. 389-397, 2000. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282000%29126%3A5%28389%29>. Acesso em 13 fev. 2019.

NEDER, Cláudia Regina Bastos. **Processo de desenvolvimento e coordenação de projetos na construção civil: um estudo multi-caso em empresas de Belém-PA**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/3548>. Acesso em: 01 fev. 2019.

NEIVA NETO, Romeu da Silva. **O projeto da produção de formas para estrutura de concreto armado incorporando BIM**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257953>. Acesso em: 17 jul. 2020.

NOVAES, Celso Carlos. **Diretrizes para garantia da qualidade do projeto na produção de edifícios habitacionais**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

NOVAES, Celso Carlos. A modernização do setor da construção de edifícios e a melhoria da qualidade do projeto. *In*: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7, 1998, Florianópolis-SC. **Anais [...]**. Florianópolis: ANTAC, 1998. p. 169-176. Disponível em: <https://www.infohab.org.br/acervos/advanced-search?advancedSearch=A+moderniza%C3%A7%C3%A3o+do+setor+da+constru%C3%A7%C3%A3o+de+edif%C3%ADcios+e+a+melhoria+da+qualidade+do+projeto&Buscar=Buscar &opcoes=TITULO BIBLIOGRAFIA&tipoDocumento=0#>. Acesso em 24 fev. 2020.

NUNES, G.H.; LEÃO, M. Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM. **Revista de Engenharia Civil** n.55, p. 47-61, 2018. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n55/Pag.47-61.pdf>. Acesso em 19 mar. 2020.

PASCHOARELLI, Luis Carlos; MENEZES; Marizilda dos Santos. **Design e ergonomia: aspectos tecnológicos** / 1. ed. – São Paulo: Editora UNESP, 2009. 279 p. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/yjxnr>. Acesso em: 16 mar. 2019.

PIRES, Déborah Heloísa Miné. **Análise da execução de lajes racionalizadas de concreto armado em edifícios de múltiplos pavimentos**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6870>. Acesso em: 17 jul. 2020.

PROCON-SP. **Programa de Proteção e Defesa do Consumidor – Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://www.procon.sp.gov.br/texto.asp?id=549>. Acesso em: 14 ago. 2019.

POH, Paul S.H.; CHEN, Jundong. The Singapore Buildable Design Appraisal System: a preliminary review of the relationship between buildability, site productivity and cost. **Construction Management & Economics**. v. 16, n. 6, p 681-692, 1998. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/014461998371971>. Acesso em 02 fev. 2019.

PORTO, Adriana Mendes. **Críticas à Contratação Integrada no Regime Diferenciado de Contratações**. 2018. Disponível em: <https://www.caubr.gov.br/critic-as-ao-instituto-da-contratacao-integrada-no-rdc/>. Acesso em: 25 abr. 2020.

RODRIGUEZ, Marco Antônio Arancibia; HEINECK, Luiz Fernando Mählmann. A construtibilidade no processo de projeto de edificações. *In*: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 3, 2003, São Carlos-SP. **Anais [...]**. São Carlos: ANTAC, 2003. p. 2702-2710. Disponível em: http://www.infohab.org.br/acervos/sobre-autor/codigo_biblio/31210/cod/1#abstract. Acesso em 04 fev. 2019.

RODRIGUEZ, Marco Antônio Arancibia; HEINECK, Luiz Fernando Mählmann. Coordenação técnica de projetos: caracterização e diretrizes para sua implementação. *In*: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 11, 2006, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ANTAC, 2006. p. 1728-1735. Disponível em: www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_1728_1_735.pdf. Acesso em 04 fev. 2019.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017-091328/pt-br.php>. Acesso em: 01 fev. 2019.

SAFFARO, Fernanda Aranha; SANTOS, Débora de Góis; HEINECK, Luiz Fernando Mählmann. Uma proposta para a classificação de decisões voltadas à melhoria da construtibilidade. *In*: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 24, 2004, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ABEPRO, 2004. p. 2702-2710. Disponível em: http://www.infohab.org.br/acervos/sobre-autor/codigo_biblio/35091/cod/1#abstract. Acesso em 01 fev. 2019.

SAFFARO, Fernanda Aranha. **Uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90049>. Acesso em: 04 mar. 2020.

SALIM NETO, Jamil José. **Diretrizes de projeto para melhorar a produtividade na montagem de componentes pré-cortados e pré-dobrados de aço para estruturas de concreto armado de edifícios**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04112009-092418/pt-br.php>. Acesso em: 28 mar. 2019.

SANTOS, Joelson de Oliveira. **Diretrizes para a elaboração de projeto para produção de revestimento cerâmico em paredes internas**. 2007. Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://poli-integra.poli.usp.br/library/pdfs/cde55230da50700d05cd3256724f3068.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2020.

SILVA, Carla Andrade. **Diretrizes para seleção tecnológica de vedações verticais externas de edifícios em estrutura metálica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Inovação na Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-23082016-145606/pt-br.php>. Acesso em: 04 fev. 2019.

SILVA, Edna Lúcia da. MENEZES, Eстера Muskat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**/ Edna Lúcia da Silva. 4. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p. Disponível em: https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf Acesso em: 21 jul. 2017.

SILVA, Frederico Augusto Coelho da. **Proposta de melhoria na construtibilidade de edificações a partir da implantação de banco de lições aprendidas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/37815>. Acesso em: 01 fev. 2019.

SINGAPURA. Building and Construction Authority. **Code of Practice on Buildability**. 2017. Disponível em: <https://www.bca.gov.sg/BuildableDesign/cop2011.html>. Acesso em: 14 fev. 2019.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de; FRANCO, Luiz Sérgio. **Definição do layout do canteiro de obras**. Boletim técnico da EPUSP. São Paulo: 1997.

SOUZA, Ana L.R.; MELHADO, Sílvio Burattino. O projeto para produção como ferramenta de gestão da qualidade: aplicação às lajes de concreto armado de edifícios. *In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 7, 1998, Florianópolis-SC. **Anais [...]**. Florianópolis: ANTAC, 1998. p. 37-45. Disponível em: <https://www.infohab.org.br/acervos/advanced-search?advancedSearch=O+projeto+para+produ%C3%A7%C3%A3o+como+ferramenta+de+gest%C3%A3o+da+qualidade%3A+aplica%C3%A7%C3%A3o+%C3%A0s+lajes+de+concreto+armado+de+edif%C3%ADcios&Buscar=Buscar&opcoes=TITULO+BIBLIOGRAFIA&tipoDocumento=0#>. Acesso em: 24 fev. 2020.

TATUM, Clyde B. Building Better: Technical Support for Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.131, n.1, p. 23-32, 2005. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282005%29131%3A1%2823%29>. Acesso em 04 fev. 2019.

TCPO. **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos** – 13. ed. – São Paulo: Pini, 2008.

TURINA, Nataša; CAR-PUŠIĆ, Diana; RADUJKOVIĆ, Mladen. Possibilities and limitations of constructability concept in construction industry in Croatia. **Tehnički vjesnik**. v. 20, n. 1, p. 167-176, 2013. Disponível em: https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=143522. Acesso em: 04 fev. 2019.

VIEIRA, Kelmara Mendes; DALMORO, Marlon. Dilemas na Construção de Escalas Tipo Likert: o Número de Itens e a Disposição Influenciam nos Resultados? **Revista Gestão Organizacional**. v.6, p. 161-174, 2013. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/31731/dilemas-na-construcao-de-escalas-tipo-likert--o--->. Acesso em 11 mar. 2020.

VIVAN, André Luiz. **Projetos para produção de residências unifamiliares em light steel framing**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos,

São Carlos, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4658?show=full>. Acesso em: 21 abr. 2020.

YATES, J.Y.; BATTERSBY, Leslie C. Master Builder Project Delivery System and Designer Construction Knowledge. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.129, n.6, p. 635-644, 2003. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282003%29129%3A6%28635%29>. Acesso em 04 fev. 2019.

ZHONG, Yun; WU, Peng. Economic sustainability, environmental sustainability and constructability indicators related to concrete- and steel-projects. **Journal of Cleaner Production**. v. 108, p 748-756, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615006630>. Acesso em 04 fev. 2019.

ZUCCHETTI, Laís; AZAMBUJA, José Alberto; BONIN, Luis Carlos; MASUERO, João Ricardo; MORSCH, Inácio Benvegno; MASUERO, Angela Borges; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Proposta de elemento de integração para a interface entre alvenaria estrutural e esquadria. **Revista Ambiente Construído**. v.11, n. 3, p. 99-115, 2011. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/16858/13503>. Acesso em 13 fev. 2019.

APÊNDICE A – Revisão Bibliométrica Integrativa sobre “Construtibilidade”

Para o desenvolvimento deste estudo, buscou-se o entendimento da construtibilidade como conceito e sua forma de abordagem em pesquisas anteriores, na forma de revisão narrativa. Feita essa revisão, um novo processo de revisão bibliográfica foi empreendido, no formato de **revisão bibliométrica integrativa**. Esse tipo de estudo, segundo Botelho, Cunha e Macedo (2011), permite sumarizar estudos primários e secundários e levantar o conhecimento pré-existente em determinado tema, mediante um método sistemático de seleção de publicações para composição de um portfólio de referências.

Estudos primários e secundários são definidos por Botelho, Cunha e Macedo (2011) e outros autores como sendo uma distinção entre estudos experimentais ou não. A revisão integrativa permite abranger estudos de diferentes naturezas na análise, diferentemente de revisões sistemáticas em que, em sua origem nas ciências da saúde, descartariam estudos secundários ou mesmo outras revisões com métodos de análise rigorosos.

O Quadro 18 apresenta as etapas de pesquisa para uma revisão integrativa:

Quadro 18 - Processo de revisão integrativa

	Etapa	Atividades
1	Identificação do tema e seleção da questão de pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> Definição do problema. Formulação de uma pergunta de pesquisa. Definição da estratégia de busca. Definição dos descritores. Definição das bases de dados.
2	Estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão	<ul style="list-style-type: none"> Uso das bases de dados. Busca dos estudos com base nos critérios de inclusão e exclusão.
3	Identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados.	<ul style="list-style-type: none"> Leitura dos resumos, palavras-chave e títulos das publicações. Organização dos estudos pré-selecionados. Identificação dos estudos selecionados.
4	Categorização dos estudos selecionados	<ul style="list-style-type: none"> Elaboração e uso da matriz de síntese. Categorização e análise de informações. Formação de uma biblioteca individual. Análise crítica dos estudos selecionados.
5	Análise e interpretação dos resultados.	<ul style="list-style-type: none"> Discussão dos resultados.
6	Apresentação da revisão/Síntese do conhecimento.	<ul style="list-style-type: none"> Criação de um documento que descreva detalhadamente a revisão. Propostas para estudos futuros.

Fonte: Botelho, Cunha e Macedo (2011)

CRITÉRIOS DE PESQUISA

Seguindo o método exposto no Quadro 18, houve a realização de um levantamento bibliográfico para revisão integrativa nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019. Definiu-se a seguinte pergunta de pesquisa¹⁶:

Como a construtibilidade vem sendo conceituada e avaliada, nacional e internacionalmente?

A fim de responder tal questão, definiu-se uma estratégia de busca, a começar pelos termos utilizados. Em português, utilizou-se unicamente o termo “construtibilidade”, enquanto que em língua inglesa foram adotados os termos “*constructability*” ou “*buildability*”.

As seguintes bases de dados e repositórios foram pesquisados:

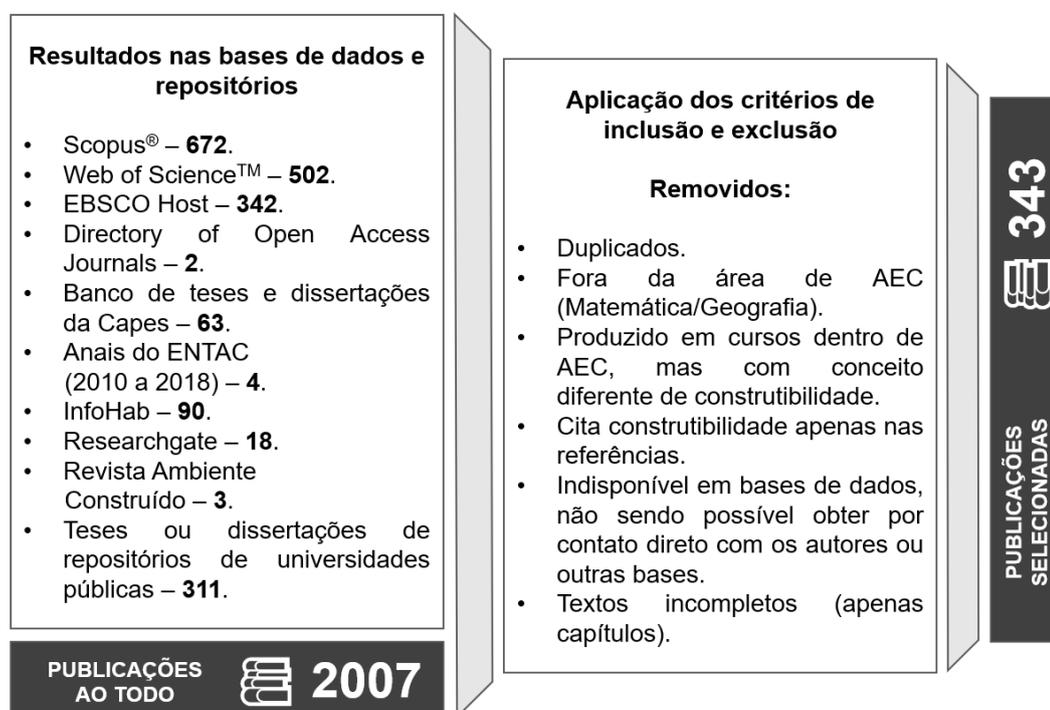
- *Scopus*[®].
- *Web of Science*[™].
- *EBSCO Host*.
- *Directory of Open Access Journals*.
- Banco de teses e dissertações da Capes.
- Anais do ENTAC (2010 a 2018).
- InfoHab.
- *Researchgate*.
- Revista Ambiente Construído.
- Teses ou dissertações de repositórios de universidades públicas, a saber: UERJ; UFAC; UFAL; UFAM; UFBA; UFC; UFCG; UFES; UFF; UFG; UFJF; UFLA; UFMA; UFMG; UFMT; UFMS; UFOP; UFPa; UFPB; UFPE; UFPel; UFPI; UFPR; UFRGS; UFRN; UFRJ; UFRR; UFS; UFSC; UFSCar; UFSM; UFT; UFU; UFV; UnB; UNIFAP; UNIFESP; UNIR; UTFPR; FURG e USP.

¹⁶ Pergunta de pesquisa referente ao método de revisão integrativa, com a qual o mesmo foi estruturado. A pergunta referente à pesquisa completa encontra-se no capítulo de **Método**.

As bases/repositórios definidos contém publicações na área de Engenharia Civil. Para as bases internacionais, considerou-se resultados em artigos (periódicos ou congressos) e para as bases nacionais, buscou-se artigos, dissertações e teses. Não foi estabelecido período de tempo para as publicações, visto que se desejava conhecer a evolução histórica do tema, bem como não há filtros em todos os mecanismos de busca.

Após a exclusão de artigos, dissertações e teses, foram obtidas trezentas e quarenta e três publicações, conforme apresenta a Figura 41:

Figura 41 - Aplicação de critérios de exclusão



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

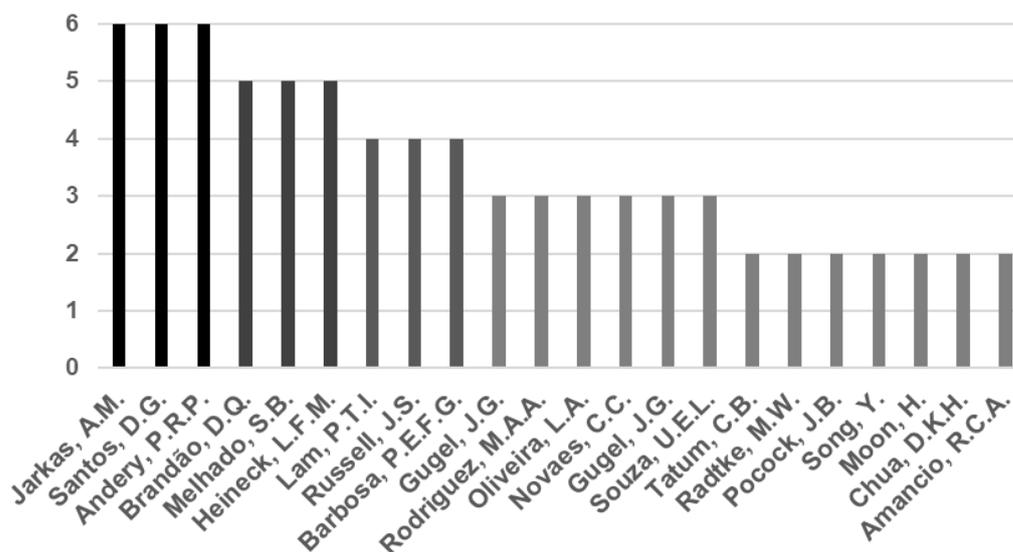
Alguns desses resultados foram filtrados já nos ambientes virtuais das bases e repositórios, por meio da leitura de títulos e resumos. Outros passaram por *download* e análise de qual a abordagem do termo “construtibilidade”. Destaca-se que há outros entendimentos para construtibilidade que diferem do trabalhado nesse estudo. Um deles, nas áreas de Urbanismo e Geografia, é o de construtibilidade como a capacidade ou não de edificar em dado terreno, e não o grau de facilidade de execução de dada edificação projetada.

Ao final, foram obtidas trezentas e quarenta e três publicações que abordam, de distintas formas, o termo construtibilidade no contexto aqui aplicado. As estatísticas apresentadas, em resposta à pergunta de pesquisa para a revisão integrativa, consideram todas essas publicações. Para fundamentar teoricamente essa dissertação, um número menor de publicações foi considerado para leitura integral.

PRINCIPAIS AUTORES

A Figura 42 demonstra os autores com maior produção que faça menção à construtibilidade.

Figura 42 - Autores que fazem menção à construtibilidade



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Dentre os autores de maior produção, observa-se artigos, dissertações e teses com aplicação de conceitos de construtibilidade, de forma geral em projetos de construção civil, ou com aplicação em serviços específicos, como a produção de formas. Entre os autores brasileiros, merecem destaque os seguintes pesquisadores: Débora Góis dos Santos, Paulo Roberto Pereira Andery, Sílvio Burattino Melhado e Luiz Fernando Mälmann Heineck. Internacionalmente, o autor Abdulaziz M. Jarkas trabalhou tanto aspectos em serviços, como construtibilidade em todo o projeto, com um total de seis publicações.

Observa-se a presença de autores com duas ou uma publicação (em sua maior parte), sendo que alguns possuem artigos e teses com temática semelhante, refletindo

a prática acadêmica de utilizar o artigo como forma expedita e resumida de apresentar aos seus pares os resultados de seus estudos. Muitos dos autores com uma publicação abordam construtibilidade como um conceito já consagrado, apenas citando-o ao longo de seus relatórios de pesquisa, principalmente após os anos 2000.

BASES DE DADOS E REPOSITÓRIOS

Buscadas as bases de dados e repositórios mencionadas, observa-se que a grande maioria das publicações com menção à construtibilidade se encontra em teses e dissertações nacionais, considerada a amostragem realizada. O Quadro 19 apresenta as bases e repositórios com as respectivas publicações selecionadas, por ordem de análise.

Quadro 19 - Bases de dados e repositórios - publicações selecionadas

DOAJ	2
EBSCO <i>host</i>	2
<i>Scopus</i>	14
<i>Web of Science™</i>	69
Banco de teses e dissertações da Capes	5
ENTAC	4
InfoHab	38
<i>Researchgate</i>	2
Revista Ambiente Construído	0
Teses e dissertações de universidades públicas	207

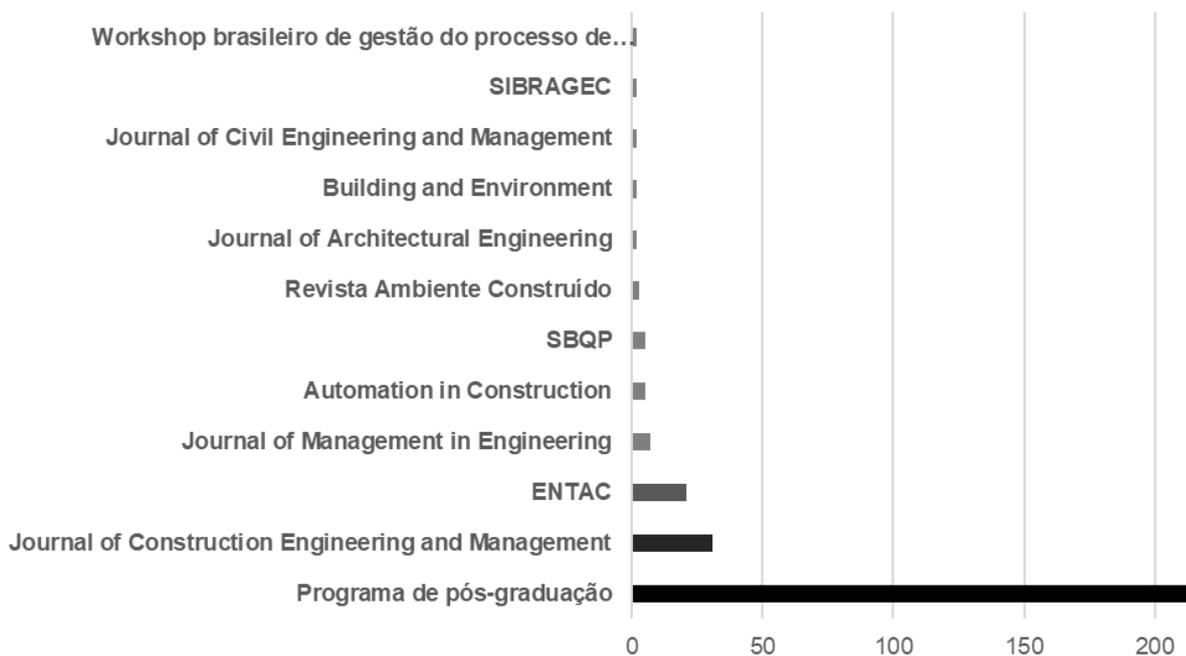
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Observe-se, também, não haver a marcação de publicações pela Revista Ambiente Construído, principal periódico brasileiro da área de construção civil. Esse número ocorre por duplicação de resultados com o repositório InfoHab, mantido pela mesma entidade.

PRINCIPAIS MEIOS DE PUBLICAÇÃO NACIONAIS E INTERNACIONAIS

Devido à proporção de teses e dissertações de universidades públicas, o principal meio de publicação nacional (Figura 43) foi o conjunto de repositórios dos programas de pós-graduação de universidades públicas, com duzentas e dezesseis publicações. Em seguida, o congresso ENTAC surge com vinte e uma publicações.

Figura 43 - Principais meios de publicação nacionais e internacionais



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Essas publicações incluem tanto aquelas obtidas diretamente do repositório de anais deste congresso, como as obtidas em outros repositórios, como o InfoHab. Observados estes dois maiores meios de publicação brasileiros, nota-se maior presença de pesquisas dedicadas integralmente ao estudo da construtibilidade na forma de artigos de eventos.

Internacionalmente, o maior meio de publicação relacionado à construtibilidade é o *Journal of Construction Engineering and Management*, com trinta e uma publicações, seguido pelo *Journal of Management in Engineering* (sete) e *Automation in Construction* (cinco). Os periódicos de gestão se justificam por a construtibilidade em maior nível favorecer a execução, evitando atrasos ou improvisações, enquanto que periódicos sobre tecnologia apontam tecnologias como CAD ou BIM como facilitadoras dos processos de análise de construtibilidade.

APÊNDICE B – Sistema de Indicadores de Construtibilidade Preliminar

Na Figura 44, é apresentada a planilha eletrônica onde foi montada a versão preliminar do SICC. Após, é apresentada a relação entre os princípios/conceitos de construtibilidade e os indicadores levantados preliminarmente, no Quadro 20.

Figura 44 - Planilha Eletrônica do Sistema de Indicadores de Construtibilidade Preliminar

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Princípio/Conceito relacionado	Indicadores	Onde medir?	Unidade	Tipo de variável	Justificativa	Sentido numérico dos valores ideais	Benchmark	Referência
9	CC9 - A cooperação de todos os especialistas deve ser facilitada por tecnologias de informação avançadas, que se sobreponham à fragmentação de áreas especializadas durante o ciclo de vida do empreendimento.	USO de BIM	Arquivo digital de projetos	dummy - adimension	Qualitativa	Verificar as possibilidades (limitadas) dos arquivos de projeto	↑	0 ou 1	Este trabalho
10		USO de CAD editável	Arquivo digital de projetos	dummy - adimension	Qualitativa	Avaliar a possibilidade de troca de informações via modelos	↑	0 ou 1	Este trabalho
11		Uso de plataforma de nuvem	Entrevista/Questionário/Equipe	dummy - adimensional	Qualitativa	Verificar a facilidade de comunicação dos atores envolvidos durante o processo de projeto. Um meio de compatibilização visando evitar ou posicionar adequadamente furos em elementos estruturais para passagem de instalações, instalações conflitantes, ou outras situações.	↑	0 ou 1	Este trabalho
12	CC10 - A maior quantidade possível de simplificações e racionalizações devem ser implementadas nos	Perímetro externo / Área construída do pavimento	Projeto	m/m²	Quantitativa	Uma menor quantidade de faces significa menos acabamentos de fachada, andaimes, requadros...	↓	A definir	Baseado em Jarkas
13		Área construída em pavimento-tipo em relação à área total construída	Projeto	%	Quantitativa	Com repetitividade permite-se maior efeito aprendizagem (mão de obra), reaproveitamento dos jogos de formas em mais de um pavimento ou replicar armaduras de pilares/Migas com montagem semelhante.	↑	A definir	Este trabalho
14		Existência do coordenador de projetos	Entrevista/Questionário/Equipe	dummy - adimensional	Qualitativa	Observar se existe alguém responsável nessa área, evitando perdas de construtibilidade por incompatibilidades	↑	0 ou 1	Este trabalho

Fonte: Autor (2020)

Quadro 20a – Indicadores definidos para a versão preliminar

Princípio/Conceito relacionado	Indicadores e referências (quando pré-existent)
CC7 - O adequado estudo do layout de canteiro deve promover eficientes e ininterruptos fluxos de trabalho e boa performance no uso de recursos durante todo o ciclo de vida do empreendimento.	<ul style="list-style-type: none"> Espaços para estoques. Distância dos fornecedores. Relação entre os indicadores acima (indicador único). Custo de transporte. Tipo de equipamento de transporte vertical (Souza e Franco (1997)). Tipo de equipamento de transporte horizontal. Canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

Quadro 20b - Indicadores definidos para a versão preliminar

Princípio/Conceito relacionado	Indicadores e referências (quando pré-existent)
<p>CC9 - A cooperação de todos os especialistas deve ser facilitada por tecnologias de informação avançadas, que se sobreponham à fragmentação de áreas especializadas durante o ciclo de vida do empreendimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de BIM. • Uso de CAD editável. • Uso de plataforma de nuvem.
<p>CC10 - A maior quantidade possível de simplificações e racionalizações devem ser implementadas nos projetos e revisões feitas pelo coordenador de projetos para que os <i>designs</i> possam configurar uma construção eficiente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Razão Perímetro externo / Área construída do pavimento. • Área construída em pavimento-tipo em relação à área total construída. • Existência do coordenador de projetos. • Número de águas no telhado. • Número de rincões e espigões. • Número de revestimentos (ou faixas) diferentes nas fachadas. • Número de saliências ou reentrâncias em fachadas (detalhes arquitetônicos). • Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias.
<p>CC12 - As especificações técnicas devem ser simplificadas e configuradas para uma construção eficiente, mas não tão extensas para piorar a performance do empreendimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Escala dos desenhos (se em papel). • Dimensões das pranchas (se em papel). • Tamanho mínimo da fonte do texto (Paschoarelli e Menezes (2009)). • Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar. • Qualidade na representação.
<p>CC13 - A modularidade e pré-fabricação dos elementos estruturais deve ser considerada, estudada cuidadosamente e usada quando puder facilitar a fabricação, transporte e instalação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de pré-fabricados como elementos estruturais. • Tipo do elemento pré-fabricado. • Proteção ao fogo demandada e/ou acabamento demandado.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

Quadro 20c – Indicadores definidos para a versão preliminar

Princípio/Conceito relacionado	Indicadores e referências (quando pré-existent)
<p>CC14 - Recursos de materiais, equipamentos e de mão de obra devem ser adequadamente dispostos no local (em um <i>layout</i> ou vários) desde a etapa de projeto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto de <i>layout</i> de canteiro. • Projetos para produção (Barros (1996)). • Acesso para caminhões (área para um veículo estacionado no interior do canteiro ou largura para corredor).
<p>CC15 - Construções devem receber cronograma que conte com possíveis condições climáticas no período. Caso isso não seja possível, alternativas como uso mais extenso de pré-fabricação devem ser disponibilizadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Variação pluviométrica diária/mensal nos últimos anos - Precipitação acumulada diária local (valor médio) em relação aos valores que impedem execução (Coelho e Back (2015)). • Disponibilidade de abrigos infláveis. • Disposição em contrato quanto aos seis meses adicionais para entrega.
<p>CC18 - Inovação diminui a necessidade de mão de obra e aumenta produtividade, segurança e mobilidade no interior do canteiro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Produtividade da mão de obra do sistema construtivo - índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas (Singapura (2017)). • Relação entre áreas de estoque e áreas de canteiro. • Meio de transporte vertical e horizontal. • Sistema construtivo - Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura) (Singapura (2017)).
<p>CC11 - Padronização de elementos do projeto deve ser escolhida sempre que possível, mas não em uma extensão que qualitativamente piore o produto entregue pelo empreendimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de repetição de esquadrias (Singapura (2017)). • Índice de repetição de seções de pilares (Singapura (2017)). • Índice de repetição de espessuras de lajes. • Índice de padronização de acabamentos. • Peças com medidas comerciais. • Tipo de empreendimento (comercial, casa, hospital, escola, etc.) (Singapura (2017)).

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

APÊNDICE C – Survey sobre construtibilidade aplicado a profissionais com experiência em construção civil

SOBRE ESTE QUESTIONÁRIO

Meu nome é João Paulo Abreu, mestrando em Engenharia Civil pelo PPGEC/UFSC, orientado pela Prof.^a Fernanda Marchiori. Para minha dissertação, estou pesquisando a respeito de construtibilidade, que é a facilidade de execução, que se consegue com o uso do conhecimento em etapas do ciclo de vida da construção. Com esse conhecimento, otimiza-se principalmente o projeto.

Para desenvolver um sistema de indicadores de construtibilidade, é importante conhecer quais fatores são mais relevantes para que se tenha maior construtibilidade. Para isso, a pesquisa se apoia em bibliografia e também espera contar com sua ajuda ao responder esse questionário, com base em **sua valorosa experiência** em obras de construção civil. Não serão necessários mais do que quinze minutos.

Ele é dividido em duas seções, sendo **a primeira** destinada a descrever, de forma breve, seus dados e sua experiência profissional. Gostaríamos de conhecer seu perfil, mas em nenhum momento dessa pesquisa, dados individuais de um ou outro entrevistado serão divulgados, garantindo-se o anonimato seu e da empresa onde trabalha, apenas sendo usados para a formulação de estatísticas e índices.

Na **segunda parte** do questionário, são apresentadas variáveis relacionadas à construtibilidade. Pede-se que você as pontue numa escala de **1 a 5**, sendo 1 “irrelevante” e 5 “completamente relevante”. Nem todas as perguntas pertinentes serão feitas a você, pois estou aplicando mais de uma versão desse questionário, para não o tornar muito extenso.

Esse questionário é de preenchimento voluntário, com a maior parte das questões objetivas. Entretanto, embora as questões sejam simples, peço que você reserve um momento propício para que as respostas reflitam o máximo possível a realidade. Naturalmente, você ou sua empresa não sofrerão prejuízo de qualquer natureza se você não puder ou não quiser participar.

E, se você puder colaborar, estou solicitando os seus dados de contato para poder enviar, futuramente, os resultados dessa pesquisa, para que você possa utilizá-los em sua empresa/escritório. Desde já agradeço por sua atenção e, se possível, às suas respostas.

Atenciosamente,
João Paulo Maciel de Abreu
Engenheiro Civil, Mestrando PPGEC/UFSC.

Questionário

PARTE 1 - SOBRE SUA ATUAÇÃO PROFISSIONAL

[Os dados aqui inseridos têm garantia de anonimato. Uso exclusivamente acadêmico]

1. Nome:
2. Empresa ou órgão em que atua:
3. Seu e-mail (para envio dos resultados):
4. Sua profissão:

 Engenheiro(a) Civil.
 Engenheiro(a) de Produção Civil.
 Arquiteto(a) e Urbanista.
 Outros... [preencher].
5. Há quantos anos atua em execução de obras? Responda todo o tempo que atua(ou), na empresa/órgão atual e em outros(as) que tenha trabalhado (número):
6. Quantos metros quadrados [m²] de obras de edifícios você já executou? (número)
7. Em que local do Brasil você atua (Cidade/Estado)?

PARTE 2 – VERSÃO 1 - QUESTÕES SOBRE CONSTRUTIBILIDADE

8. De 1 a 5, quanto essas variáveis afetam o desempenho em canteiro? (1 = irrelevante [...] 5 = completamente relevante)

Espaços para estoques.

Distância dos fornecedores.

Custo de transporte.

Canteiro organizado e presença de equipamentos de proteção coletiva.

9. De 1 a 5, o que melhora a construtibilidade em termos de comunicação em projetos? (1 = irrelevante [...] 5 = completamente relevante)

Uso de modelos em BIM.

Uso de CAD editável compartilhado.

Uso de plataforma de nuvem para compartilhar informações.

Atuação do coordenador de projetos.

Reuniões mensais para ver o andamento de projetos / execução.

Outra ferramenta que melhore a comunicação em projetos? (descreva e pontue de 1 a 5, opcional)

10. Um princípio de construtibilidade aponta que se deve buscar racionalizações e simplificações. Em relação a isso, pontue de 1 a 5 cada um desses itens: (1 = irrelevante [...] 5 = completamente relevante)

O quanto é importante buscar um menor perímetro externo para uma mesma área de pavimento-tipo, em projeto?

O quanto é relevante buscar maior quantidade de pavimentos-tipo em relação ao total de pavimentos, em projeto?

Tentar reduzir a presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias, também buscando otimizar o projeto.

11. Quanto à transmissão de informações em canteiro, pontue: (1 = irrelevante [...] 5 = completamente relevante)

(___) Quanto é importante pensar na escala dos desenhos em pranchas de papel, de acordo com o detalhamento?

(___) O quanto é relevante adequar as dimensões das pranchas para uso em canteiro?

(___) Diga o quanto é relevante haver tamanho mínimo dos textos em especificações de desenhos para levar para o canteiro.

(___) O quanto é importante a presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar em memorial descritivo.

(___) O quanto você considera importante a qualidade na representação, como destaques em cores ou espessuras de linhas que ajudem o entendimento de especificações?

12. Você gostaria de acrescentar algo que considere importante para a melhoria da construtibilidade e que não tenha sido mencionado? Deixe sua contribuição (opcional).
-

Muito obrigado!

CASO PUDER INDICAR OUTRO PROFISSIONAL QUE CONHEÇA E QUE POSSA COLABORAR COM ESSA PESQUISA (ATUANTE EM EXECUÇÃO DE OBRAS), DEIXE O CONTATO ABAIXO PARA QUE POSSA SOLICITAR A PARTICIPAÇÃO OU ENVIE O LINK DESSE FORMULÁRIO PARA O MESMO. ESSE FORMULÁRIO ESTARÁ ABERTO PARA RESPOSTAS ATÉ O DIA 05.07.2019.

PARTE 2 – VERSÃO 2 - QUESTÕES SOBRE CONSTRUTIBILIDADE

8. Quanto ao nível de acabamento, pontue de 1 a 5:

(___) O quanto é importante a escolha de um sistema estrutural, pensando na proteção ao fogo ou demais acabamentos necessários?

Acredita ser necessário acrescentar algo? Qual seria sua nota? [Pergunta disponível apenas nos pré-testes]

9. Quando ao canteiro de obras, de 1 a 5, qual a importância dos itens a seguir?

(___) O quão é importante elaborar projeto(s) de *layout* de canteiro?

- Você ou sua empresa elaboram projeto(s) de *layout* de canteiro?

Sim, elaborei(amos) em todos os projetos.

Não, nunca elaborei(amos).

Não, mas já fiz e não notei resultado positivo.

- Você ou sua empresa fazem projetos BIM?

Sim.

Não.

(___) Você acha relevante que os operários possam acessar (ou ser apresentado a eles) o projeto em BIM no canteiro (em *tablet* ou celular) a fim de facilitar a execução?

(___) O quão é relevante permitir acesso para carga e descarga e disponibilidade de espaço no interior do canteiro?

10. Quanto ao uso de mão de obra, pontue quanto à importância:

(___) Escolher um sistema de vedações verticais (paredes internas e externas) pensando em economia de mão de obra no canteiro.

(___) A escolha dos meios de transporte dentro do canteiro.

Definir um sistema estrutural pensando na economia de mão de obra em canteiro.

Mais um item não citado e que seria relevante? Qual seria sua nota? [Pergunta disponível apenas nos pré-testes]

11. Usando uma escala de 1 a 5, indique qual a importância dessas padronizações:

Repetição de esquadrias.

Repetição de seções de pilares.

Repetição de espessuras de lajes.

Mais algo a citar? Qual seria sua nota? [Pergunta disponível apenas nos pré-testes]

12. Você gostaria de acrescentar algo que considere importante para a melhoria da construtibilidade e que não tenha sido mencionado? Deixe sua contribuição (opcional)

CASO PUDER INDICAR OUTRO PROFISSIONAL QUE CONHEÇA E QUE POSSA COLABORAR COM ESSA PESQUISA (ATUANTE EM EXECUÇÃO DE OBRAS), DEIXE O CONTATO ABAIXO PARA QUE POSSA SOLICITAR A PARTICIPAÇÃO OU ENVIE O LINK DESSE FORMULÁRIO PARA O MESMO. ESSE FORMULÁRIO ESTARÁ ABERTO PARA RESPOSTAS ATÉ O DIA 05.07.2019.

APÊNDICE D – Roteiro do *Thinking Aloud* e demais protocolos verbais utilizados

Figura 45 - Slide 01 – Apresentação da validação



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 46 - Slide 02 – Definição e critérios para conceituar construtibilidade

O QUE É CONSTRUTIBILIDADE?	DEFINIÇÃO
	<ul style="list-style-type: none"> - Simplificação. - Uso de mão de obra. - Redução do número de partes e peças. - Gestão do conhecimento. - Transmissão de informações.
02	FIGURAS: SITE ENGENHARIA CIVIL (2019), ARCHIEXPO (2019), PIXABAY (2019)

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 47 - Slide 03 – Introdução aos sistemas de indicadores de construtibilidade

INDICADORES **QUAL O GRAU DE FACILIDADE DE EXECUÇÃO DE UMA OBRA?**

A solução adotada é adequada? **Como ficar sabendo?**

E se houvesse algo que me ajudasse nesta tarefa?

 **1,00**

 **0,85**

03 **FIGURAS: ADAPTAÇÃO DE MOLIN CONCRETE STRUCTURES (2019) E ZAP EM CASA (2019)**

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 48 - Slide 04 – Formulação de um sistema de indicadores e apresentação simplificada da etapa de pesquisa.

DISSERTAÇÃO **SISTEMA DE INDICADORES DE CONSTRUTIBILIDADE**

$$\Sigma (P_n \cdot I_n)$$

P_n = Peso de um indicador “n”.
 I_n = Valor do indicador “n” (de 0,00 a 1,00).

Definir indicadores → Definir pesos → Teste em três projetos reais já executados → Obtenção dos indicadores → Validação

Eu (após revisão integrativa) | Questionários | Solicitados em empresas do RS e SC | Eu | Profissionais experientes

04 **AUTOR (2020)**

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 49 - Slide 05 – Primeira pergunta aos especialistas

INDICADORES	INDICADORES UTILIZADOS
	<p>Os indicadores utilizados serão apresentados a seguir.</p> <p>PERGUNTA 01: Após conhecer os indicadores, quais você acredita serem adequados para medir a construtibilidade?</p>
05	AUTOR (2020)

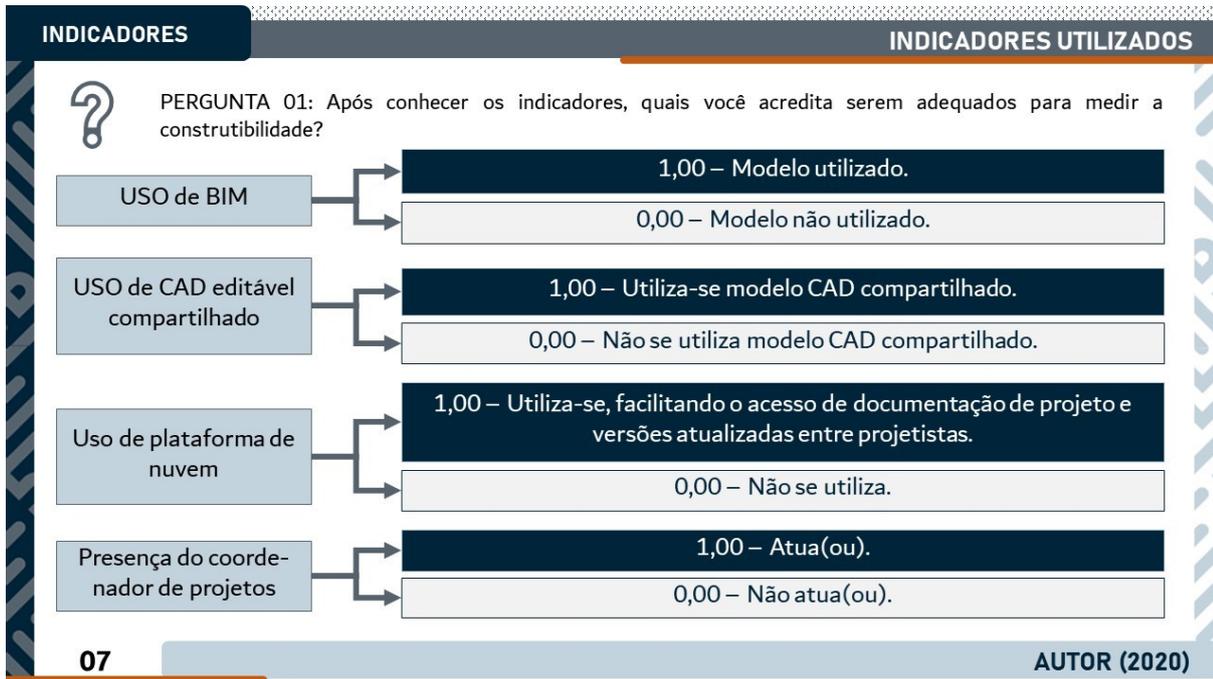
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 50 - Slide 06 – Indicadores e método de cálculo

INDICADORES	INDICADORES UTILIZADOS						
 <p>PERGUNTA 01: Após conhecer os indicadores, quais você acredita serem adequados para medir a construtibilidade?</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="277 1301 533 1447">Espaço para estoques</td> <td data-bbox="533 1301 1385 1447"> <p>1,00 - Espaço suficiente no próprio canteiro ou em terreno anexo, para materiais não processados em central da construtora, se existir.</p> <p>0,00 - O estoque de materiais de uma obra encontra-se em outra obra ou galpão da empresa, aumentando deslocamentos e desperdício de materiais.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1503 533 1615">Distância dos fornecedores e custo de transporte</td> <td data-bbox="533 1469 1385 1615"> <p>1,00 - A localização do empreendimento permite a adoção de alguma solução otimizada desejada, como aço pré-cortado e pré-dobrado, por exemplo.</p> <p>0,00 - O local inviabiliza soluções otimizadas desejadas.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1648 533 1749">Canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs</td> <td data-bbox="533 1648 1385 1749"> <p>1,00 - Possui canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs.</p> <p>0,00 - O canteiro não é organizado e/ou faltam EPIs/EPCs.</p> </td> </tr> </table>	Espaço para estoques	<p>1,00 - Espaço suficiente no próprio canteiro ou em terreno anexo, para materiais não processados em central da construtora, se existir.</p> <p>0,00 - O estoque de materiais de uma obra encontra-se em outra obra ou galpão da empresa, aumentando deslocamentos e desperdício de materiais.</p>	Distância dos fornecedores e custo de transporte	<p>1,00 - A localização do empreendimento permite a adoção de alguma solução otimizada desejada, como aço pré-cortado e pré-dobrado, por exemplo.</p> <p>0,00 - O local inviabiliza soluções otimizadas desejadas.</p>	Canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs	<p>1,00 - Possui canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs.</p> <p>0,00 - O canteiro não é organizado e/ou faltam EPIs/EPCs.</p>
Espaço para estoques	<p>1,00 - Espaço suficiente no próprio canteiro ou em terreno anexo, para materiais não processados em central da construtora, se existir.</p> <p>0,00 - O estoque de materiais de uma obra encontra-se em outra obra ou galpão da empresa, aumentando deslocamentos e desperdício de materiais.</p>						
Distância dos fornecedores e custo de transporte	<p>1,00 - A localização do empreendimento permite a adoção de alguma solução otimizada desejada, como aço pré-cortado e pré-dobrado, por exemplo.</p> <p>0,00 - O local inviabiliza soluções otimizadas desejadas.</p>						
Canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs	<p>1,00 - Possui canteiro organizado e presença de EPIs/EPCs.</p> <p>0,00 - O canteiro não é organizado e/ou faltam EPIs/EPCs.</p>						
06	AUTOR (2020)						

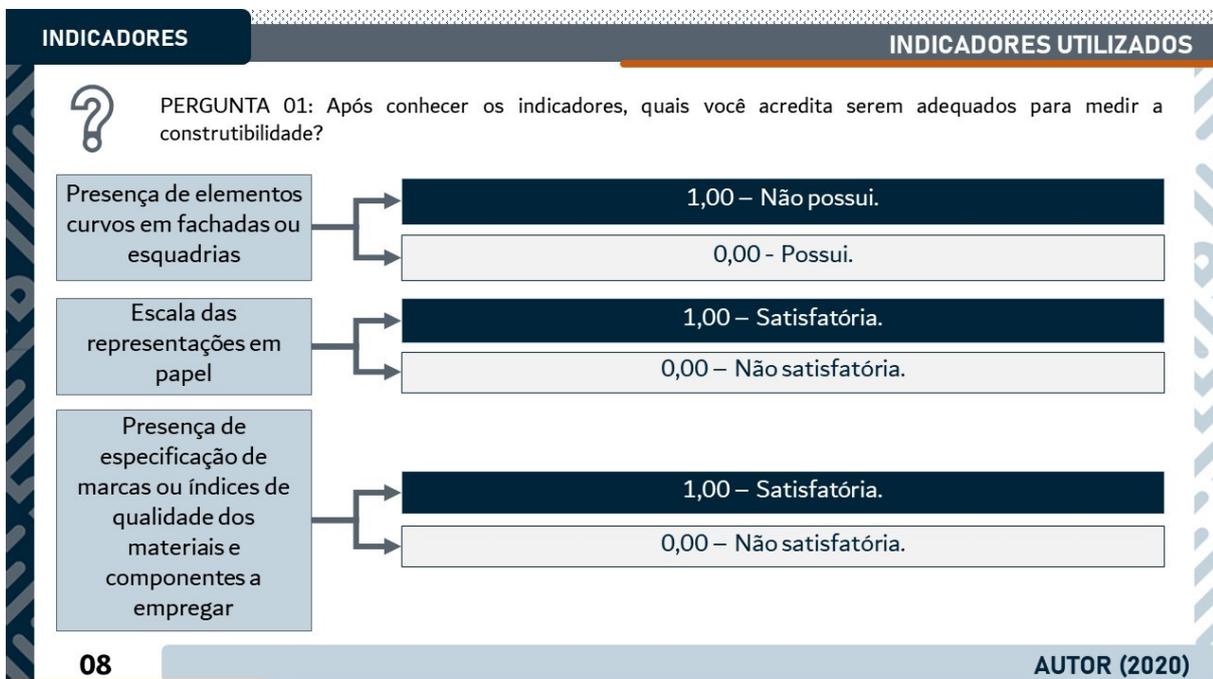
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 51 - Slide 07 – Indicadores e método de cálculo



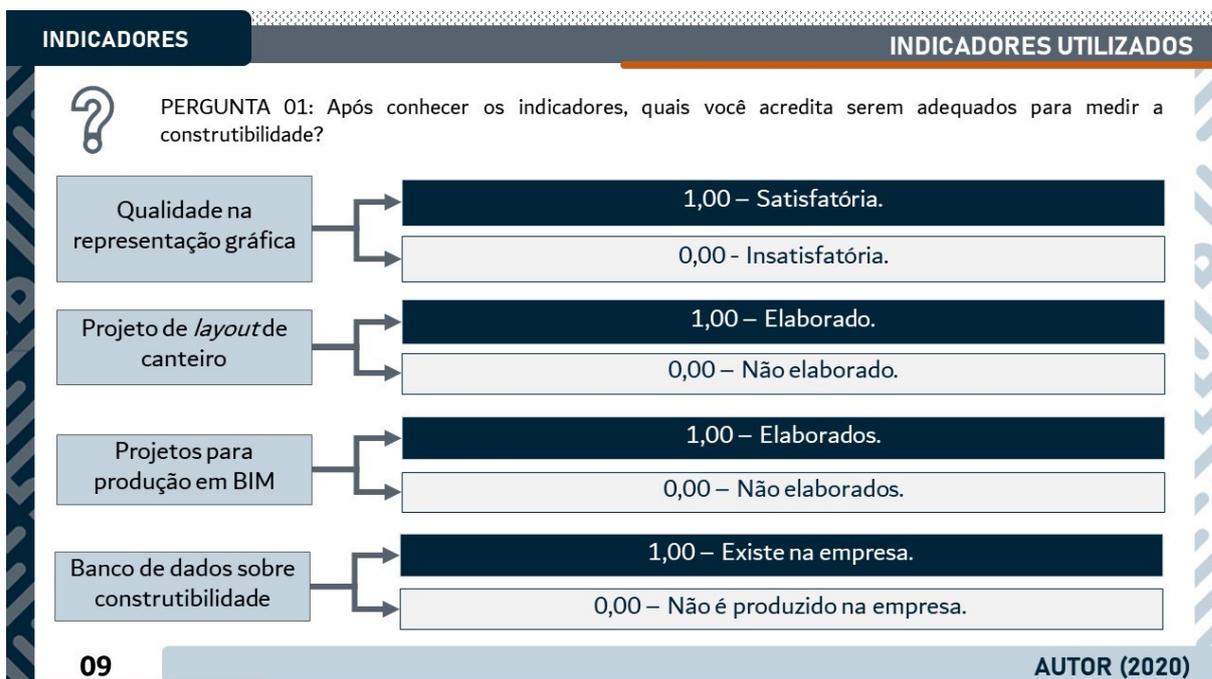
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 52 - Slide 08 – Indicadores e método de cálculo



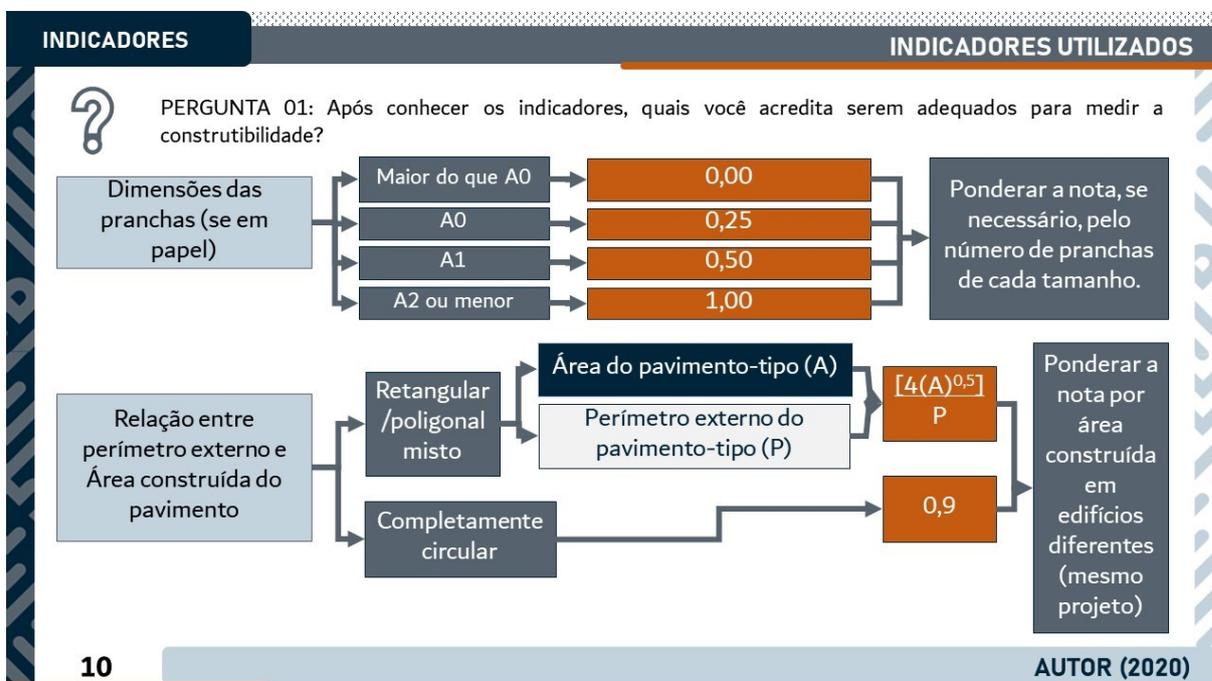
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 53 - Slide 09 – Indicadores e método de cálculo



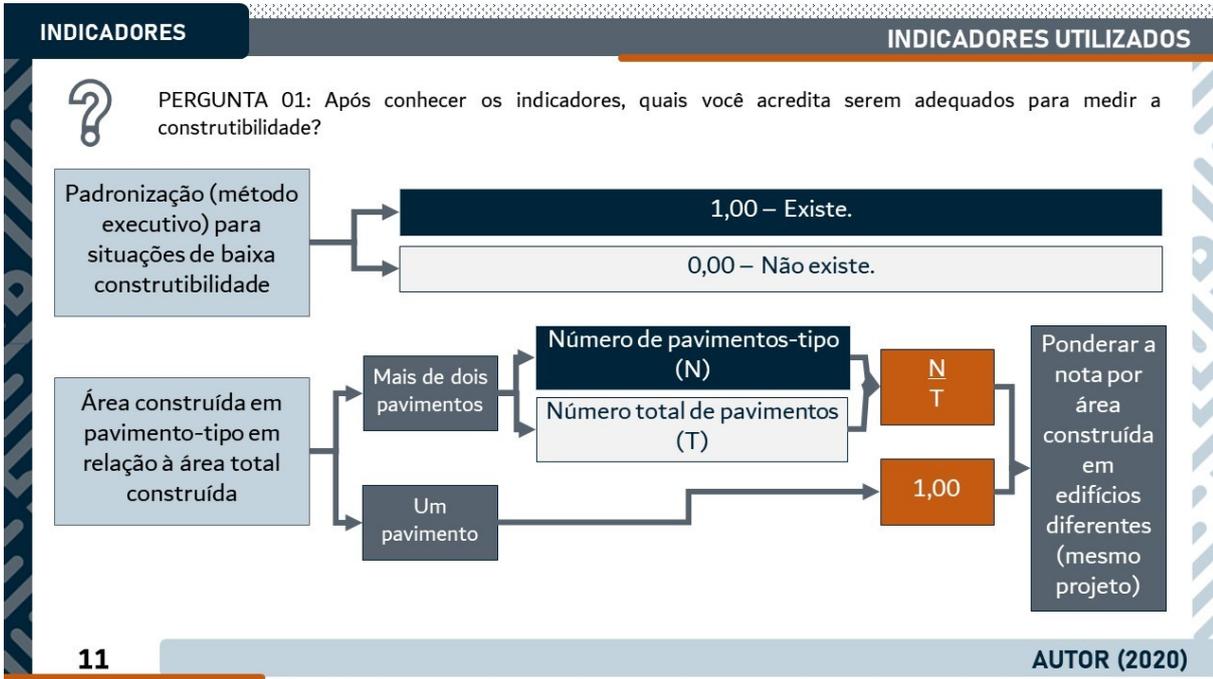
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 54 - Slide 10 – Indicadores e método de cálculo



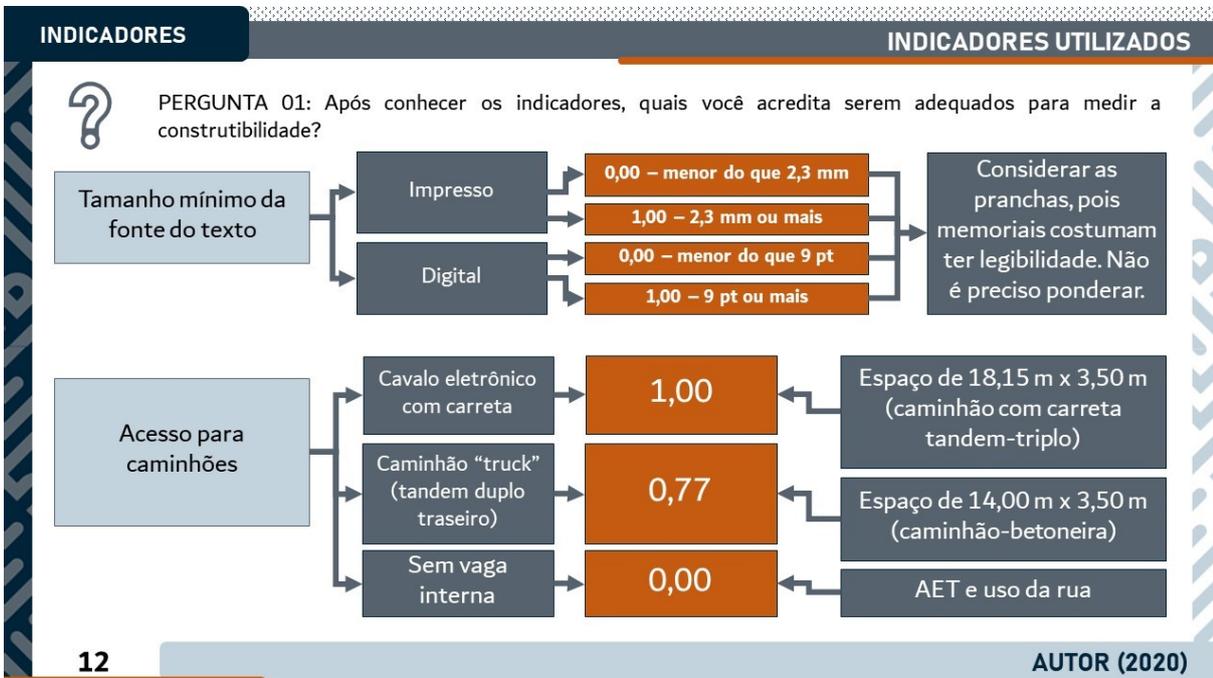
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 55 - Slide 11 – Indicadores e método de cálculo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 56 - Slide 12 – Indicadores e método de cálculo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 57 - Slide 13 – Indicadores e método de cálculo

INDICADORES
INDICADORES UTILIZADOS

PERGUNTA 01: Após conhecer os indicadores, quais você acredita serem adequados para medir a construtibilidade?

Sistema de vedações verticais (paredes) internas ou externas.

↓

Identificação das tipologias e suas áreas ou perímetros (quando há pé-direito constante)

Gesso acartonado	Gesso acartonado nas áreas internas, exceto molhadas, como parede de cozinha ou banheiro.	1,00
Fachada envidraçada / divisórias em vidro em todo o pé-direito / divisória naval / guarda-corpo pré-fabricado	Fachada envidraçada / divisórias em vidro em todo o pé-direito	1,00
	Guarda-corpo pré-fabricado	1,00
	Divisória naval	1,00
	Divisória naval com acabamentos estilo pedra/amadeirado	0,90
Parede pré-fabricada em concreto	Pilares e paredes externas pré-fabricados lisos(4)	1,00
	Parede em concreto pré-fabricado com acabamento em massa corrida.	0,90
Painéis de concreto leve	Parede em concreto pré-fabricado com revestimento argamassado, acabamentos amadeirados ou em pedra natural.	0,60
	Painéis de concreto leve com acabamento em massa corrida	0,85
Parede em concreto armado moldado in loco	Painéis de concreto leve com revestimento argamassado, acabamentos amadeirados ou em pedra natural.	0,55
	Paredes externas e pilares concretados in loco e lisos, sem acabamentos adicionais(4)	0,90
	parede concretada in loco com acabamento em massa corrida	0,80
Alvenaria estrutural	Parede concretada in loco com revestimento argamassado, acabamentos amadeirados ou em pedra natural.	0,50
	Alvenaria estrutural com acabamento em massa corrida	0,30
Alvenaria em blocos ou tijolos (convencional)	Alvenaria estrutural com revestimento argamassado, acabamentos amadeirados ou em pedra natural.	0,10
	Alvenaria com ou sem revestimento argamassado	0,10

Ponderar segundo a área em paredes ou, se o pé-direito é constante, por perímetro de cada face da vedação vertical.

Ponderar por prédio e, após, por todos os prédios do projeto.

13
AUTOR (2020)

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 58 - Slide 14 – Indicadores e método de cálculo

INDICADORES
INDICADORES UTILIZADOS

PERGUNTA 01: Após conhecer os indicadores, quais você acredita serem adequados para medir a construtibilidade?

Repetição de seções de pilares

Levantar as três seções mais frequentes do pavimento-tipo em projeto estrutural

1,00 – correspondem a 90 % ou mais do total

0,75 – entre 75 % a 90 %

0,00 – menos do que 75 %

Ponderar por área construída, considerando os edifícios do condomínio.

Meio de transporte vertical

Grua

Elevador

Guincho

1,00

0,41

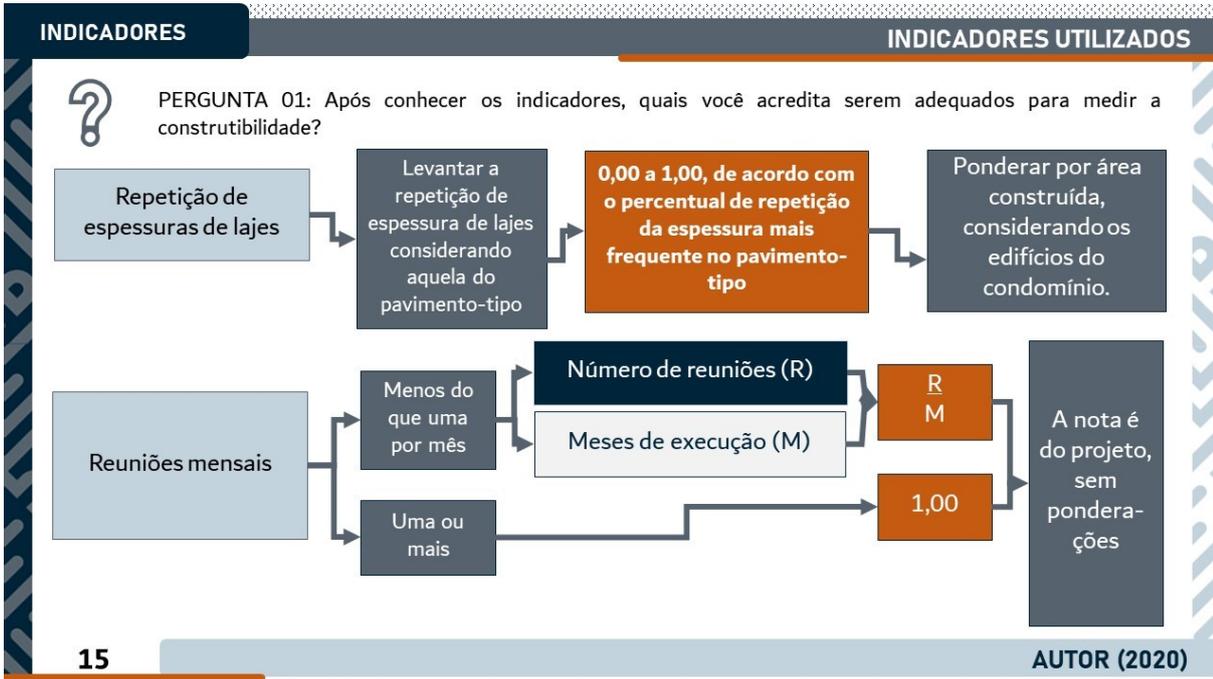
0,16

Ponderar as notas segundo a área construída atendida por cada solução. Em caso de uso de roldana e tração manual, adotar nota 0,00.

14
AUTOR (2020)

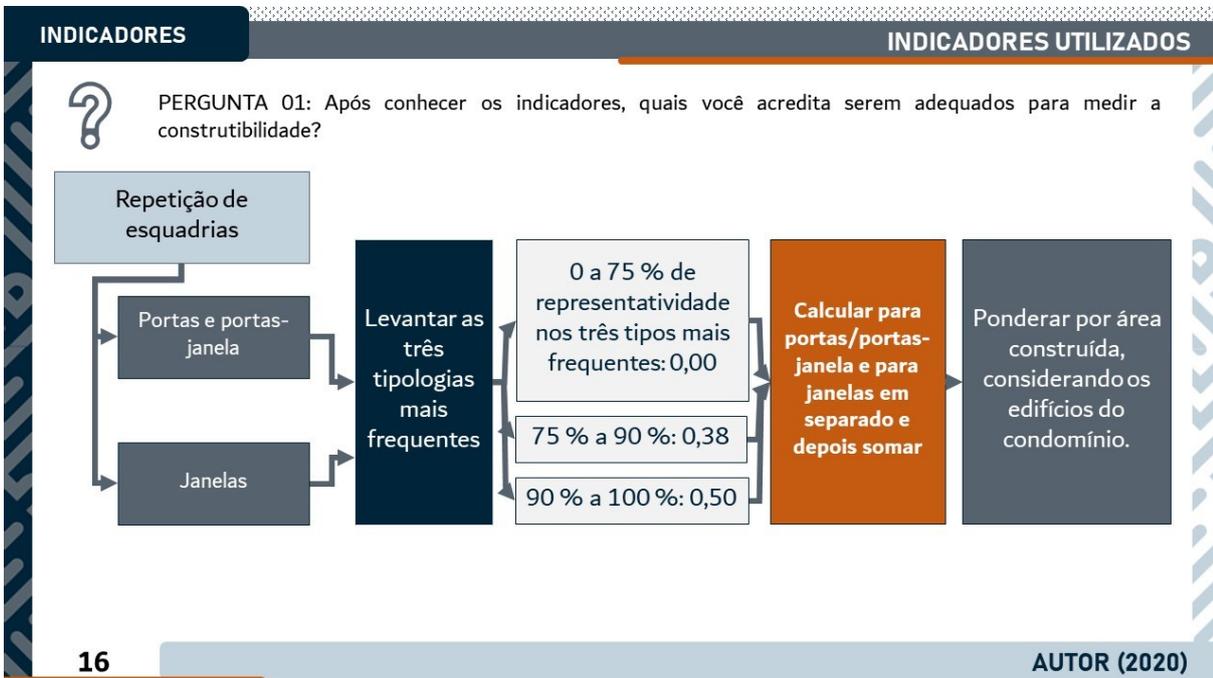
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 59 - Slide 15 – Indicadores e método de cálculo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 60 - Slide 16 – Indicadores e método de cálculo



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 61 - Slide 17 – Indicadores e método de cálculo

INDICADORES **INDICADORES UTILIZADOS**

PERGUNTA 01: Após conhecer os indicadores, quais você acredita serem adequados para medir a construtibilidade?

Sistema Estrutural

Identificação das tipologias e seus volumes ou áreas (quando há pé-direito constante)

Identificação do sistema de telhado, considerando como mais um pavimento.

Concreto pré-fabricado (diferenciar de pré-moldado)	Totalmente pré-fabricado	1	
	Pilar ou parede pré-fabricados(2) com laje sem vigas internas e vigas perimetrais (flat plate) (altura da viga ≤ 60 cm)	0,9	
	Pilar ou parede pré-fabricados(2) com laje sem vigas internas e vigas perimetrais (flat plate) (altura da viga > 60 cm)	0,8	
	Pilar ou parede pré-fabricados(2) com laje cogumelo sem vigas internas e vigas perimetrais (flat plate) (altura da viga ≤ 60 cm)	0,85	
	Pilar ou parede pré-fabricados(2) com laje cogumelo sem vigas internas e vigas perimetrais (flat plate) (altura da viga > 60 cm)	0,75	
	Vigas e lajes pré-fabricadas	0,9	
	Vigas e pilares/paredes pré fabricados	0,9	
	Pilar ou parede pré-fabricados(2) e laje pré-fabricada	0,9	
	Somente laje pré-fabricada	0,7	
	Somente pilares ou paredes pré-fabricados(2)	0,7	
	Sistema estrutural em aço (aplicável somente se for laje sobre assoalho de aço (steel decking) ou laje pré-fabricada)(1)	Vigas e pilares metálicos (sem encamisamento em concreto)	1
		Vigas e pilares metálicos (com encamisamento em concreto)	0,95

Ponderar segundo a área em paredes ou, se o pé-direito é constante, por perímetro de cada face da vedação vertical.

Ponderar por prédio e, após, por todos os prédios do projeto.

17 **AUTOR (2020)**

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 62 - Slide 18 – Indicadores e método de cálculo

INDICADORES **INDICADORES UTILIZADOS**

PERGUNTA 01: Após conhecer os indicadores, quais você acredita serem adequados para medir a construtibilidade?

Sistema Estrutural

Identificação das tipologias e seus volumes ou áreas (quando há pé-direito constante)

Identificação do sistema de telhado, considerando como mais um pavimento.

Concreto armado convencional	Laje sem vigas internas e com vigas perimetrais (flat plate) (altura da viga ≤ 60 cm)	0,85k
	Laje sem vigas internas e com vigas perimetrais (flat plate) (altura da viga > 60 cm)	0,75k
	Laje cogumelo sem vigas internas e com vigas perimetrais (altura da viga ≤ 60 cm)	0,8k
	Laje cogumelo sem vigas internas e com vigas perimetrais (altura da viga > 60 cm)	0,7k
	Vigas internas em uma direção	0,7k
	Vigas internas reticulares (duas direções)	0,45k
Sistema de telhado (non-RC)	Telhado metálico integrado em treliça/tesoura metálica	1
	Telhado metálico posto sobre treliça/tesoura metálica ou de madeira	0,95
	Telhas cerâmicas sobre encaibramento/terças metálicos, de concreto pré-fabricado ou madeira	0,75
	Telhas metálicas sobre encaibramento/terças concretados in loco	0,6
	Telhas cerâmicas sobre encaibramento/terças concretados in loco	0,55
Parede pré-fabricada em concreto(4)	Pilares e paredes externas pré-fabricados lisos(4)	1,00
Alvenaria estrutural	Alvenaria estrutural com acabamento em massa corrida	0,30
Parede em concreto armado moldado in loco	Paredes externas e pilares concretados in loco e lisos, sem acabamentos adicionais(4) - equivalente ao elemento estrutural.	0,90

Ponderar segundo a área em paredes ou, se o pé-direito é constante, por perímetro de cada face da vedação vertical.

Ponderar por prédio e, após, por todos os prédios do projeto.

18 **AUTOR (2020)**

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 63 - Slide 19 – Segunda pergunta da validação

INDICADORES	INDICADORES UTILIZADOS
 <p>Os pesos para cada indicador serão apresentados a seguir.</p> <p>PERGUNTA 02: Os pesos obtidos pela pesquisa refletem a relevância dos indicadores? Deixe sua opinião.</p>	
19	AUTOR (2020)

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 64 - Slide 20 – Pesos para cada indicador

INDICADORES	INDICADORES UTILIZADOS																																																												
 <p>PERGUNTA 02: Os pesos obtidos pela pesquisa refletem a relevância dos indicadores? Deixe sua opinião.</p>																																																													
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>PONTO EXTRA - Banco de dados sobre construtibilidade</td> <td>2,5</td> <td>Escala dos desenhos (se em papel)</td> <td>4,22</td> </tr> <tr> <td>PONTO EXTRA - Padronização (método executivo) para situações de baixa construtibilidade</td> <td>2,5</td> <td>Tamanho mínimo da fonte do texto</td> <td>4,29</td> </tr> <tr> <td>Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias</td> <td>3,55</td> <td>Índice de repetição de esquadrias</td> <td>4,3</td> </tr> <tr> <td>Relação entre perímetro externo e Área construída do pavimento</td> <td>3,69</td> <td>Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar</td> <td>4,31</td> </tr> <tr> <td>USO de BIM</td> <td>3,85</td> <td>Projeto de layout de canteiro</td> <td>4,34</td> </tr> <tr> <td>USO de CAD editável compartilhado</td> <td>3,89</td> <td>Índice de repetição de espessuras de lajes</td> <td>4,34</td> </tr> <tr> <td>Projetos para produção em BIM</td> <td>3,9</td> <td>Dimensões das pranchas (se em papel)</td> <td>4,35</td> </tr> <tr> <td>Distância dos fornecedores e custo de transporte</td> <td>4,08</td> <td>Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas</td> <td>4,44</td> </tr> <tr> <td>Área construída em pavimento-tipo em relação à área total construída</td> <td>4,12</td> <td>Meio de transporte vertical</td> <td>4,44</td> </tr> <tr> <td>Uso de plataforma de nuvem</td> <td>4,13</td> <td>Índice de repetição de seções de pilares</td> <td>4,47</td> </tr> <tr> <td>Qualidade na representação</td> <td>4,18</td> <td>Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)</td> <td>4,48</td> </tr> <tr> <td>Espaços para estoques</td> <td>4,2</td> <td>Atuação do coordenador de projetos</td> <td>4,51</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Acesso para caminhões (área para um veículo estacionado no interior ou largura para corredor)</td> <td>4,61</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Reuniões mensais</td> <td>4,63</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Canteiro organizado e presença de EPC's</td> <td>4,7</td> </tr> </tbody> </table>	PONTO EXTRA - Banco de dados sobre construtibilidade	2,5	Escala dos desenhos (se em papel)	4,22	PONTO EXTRA - Padronização (método executivo) para situações de baixa construtibilidade	2,5	Tamanho mínimo da fonte do texto	4,29	Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias	3,55	Índice de repetição de esquadrias	4,3	Relação entre perímetro externo e Área construída do pavimento	3,69	Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar	4,31	USO de BIM	3,85	Projeto de layout de canteiro	4,34	USO de CAD editável compartilhado	3,89	Índice de repetição de espessuras de lajes	4,34	Projetos para produção em BIM	3,9	Dimensões das pranchas (se em papel)	4,35	Distância dos fornecedores e custo de transporte	4,08	Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas	4,44	Área construída em pavimento-tipo em relação à área total construída	4,12	Meio de transporte vertical	4,44	Uso de plataforma de nuvem	4,13	Índice de repetição de seções de pilares	4,47	Qualidade na representação	4,18	Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)	4,48	Espaços para estoques	4,2	Atuação do coordenador de projetos	4,51			Acesso para caminhões (área para um veículo estacionado no interior ou largura para corredor)	4,61			Reuniões mensais	4,63			Canteiro organizado e presença de EPC's	4,7	
PONTO EXTRA - Banco de dados sobre construtibilidade	2,5	Escala dos desenhos (se em papel)	4,22																																																										
PONTO EXTRA - Padronização (método executivo) para situações de baixa construtibilidade	2,5	Tamanho mínimo da fonte do texto	4,29																																																										
Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias	3,55	Índice de repetição de esquadrias	4,3																																																										
Relação entre perímetro externo e Área construída do pavimento	3,69	Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar	4,31																																																										
USO de BIM	3,85	Projeto de layout de canteiro	4,34																																																										
USO de CAD editável compartilhado	3,89	Índice de repetição de espessuras de lajes	4,34																																																										
Projetos para produção em BIM	3,9	Dimensões das pranchas (se em papel)	4,35																																																										
Distância dos fornecedores e custo de transporte	4,08	Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas	4,44																																																										
Área construída em pavimento-tipo em relação à área total construída	4,12	Meio de transporte vertical	4,44																																																										
Uso de plataforma de nuvem	4,13	Índice de repetição de seções de pilares	4,47																																																										
Qualidade na representação	4,18	Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)	4,48																																																										
Espaços para estoques	4,2	Atuação do coordenador de projetos	4,51																																																										
		Acesso para caminhões (área para um veículo estacionado no interior ou largura para corredor)	4,61																																																										
		Reuniões mensais	4,63																																																										
		Canteiro organizado e presença de EPC's	4,7																																																										
20	AUTOR (2020)																																																												

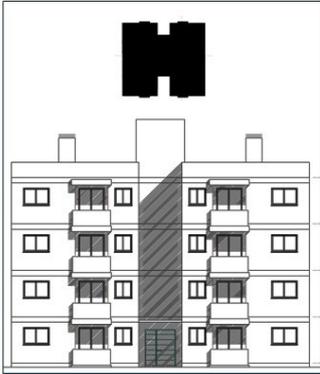
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 65 - Slide 21 – Terceira pergunta

INDICADORES	INDICADORES UTILIZADOS
	<p>Por fim, serão apresentados os projetos e um comparativo das notas.</p> <p>PERGUNTA 03: Com base em seu conhecimento e experiência, as notas refletem a construtibilidade destes empreendimentos?</p>
21	AUTOR (2020)

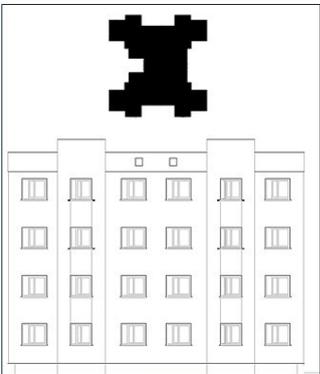
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 66 - Slide 22 – Projeto 01

TESTE	PROJETOS TESTADOS PARA AJUSTE DO SISTEMA
 <p>Projeto 01</p> <p>CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL</p>	<p>Local: Vacaria-RS. Ano: 2019. Área construída: 7.168,08 m² (total), 1.101,78 m² por bloco. Edificações: sete blocos residenciais e salões de festas em uma edificação. BIM ou CAD? CAD. Projeto para canteiro? Sim. Projeto para produção? Não. Nota do sistema estrutural: 0,40. Nota da relação área/perímetro: 0,81 (principal: 0,82). Padronização de esquadrias: 1,00 (90 % ou mais nos três tipos mais frequentes). Banco de dados sobre construtibilidade: Não. Padronização de método construtivo em situação de baixa construtibilidade: Sim.</p>
22	EXTRAÍDOS DOS PROJETOS PELO AUTOR (2020)

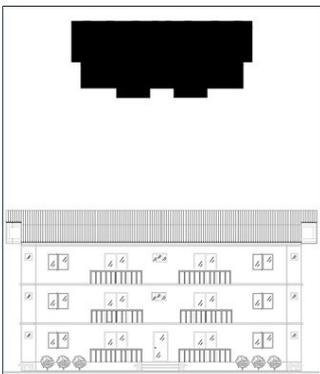
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 67 - Slide 23 – Projeto 02

TESTE	PROJETOS TESTADOS PARA AJUSTE DO SISTEMA
 <p data-bbox="300 763 416 792">Projeto 02</p> <p data-bbox="209 824 501 853">ALVENARIA ESTRUTURAL</p>	<p data-bbox="544 389 911 418">Local: Biguaçu-SC. Ano: 2010.</p> <p data-bbox="544 423 1278 452">Área construída: 13.537,01 m² (total), 799,40 m² por bloco.</p> <p data-bbox="544 456 1305 528">Edificações: dezesseis blocos residenciais, salão de festas, dois blocos com nove lojas, quiosques.</p> <p data-bbox="544 533 778 562">BIM ou CAD? CAD.</p> <p data-bbox="544 566 879 595">Projeto para canteiro? Não.</p> <p data-bbox="544 600 895 629">Projeto para produção? Não.</p> <p data-bbox="544 633 948 663">Nota do sistema estrutural: 0,46.</p> <p data-bbox="544 667 1209 696">Nota da relação área/perímetro: 0,80 (principal: 0,61).</p> <p data-bbox="544 701 1230 772">Padronização de esquadrias: 0,89 (ponderando todos os edifícios).</p> <p data-bbox="544 777 1098 806">Banco de dados sobre construtibilidade: Não.</p> <p data-bbox="544 810 1257 882">Padronização de método construtivo em situação de baixa construtibilidade: Sim.</p>
23	EXTRAÍDOS DOS PROJETOS PELO AUTOR (2020)

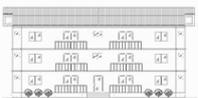
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 68 - Slide 24 – Projeto 03

TESTE	PROJETOS TESTADOS PARA AJUSTE DO SISTEMA
 <p data-bbox="300 1603 416 1632">Projeto 03</p> <p data-bbox="220 1664 496 1711">PAREDES DE CONCRETO ARMADO</p>	<p data-bbox="544 1229 799 1258">Local: Blumenau-SC.</p> <p data-bbox="544 1263 1246 1292">Área construída: ≈ 5.000 m² (total), 408,58 m² por bloco.</p> <p data-bbox="544 1296 1299 1368">Edificações: doze blocos residenciais, salão de festas – outras instalações não disponibilizadas em projeto.</p> <p data-bbox="544 1373 778 1402">BIM ou CAD? CAD.</p> <p data-bbox="544 1406 879 1435">Projeto para canteiro? Não.</p> <p data-bbox="544 1440 895 1469">Projeto para produção? Não.</p> <p data-bbox="544 1473 948 1503">Nota do sistema estrutural: 0,86.</p> <p data-bbox="544 1507 1209 1536">Nota da relação área/perímetro: 0,86 (principal: 0,86).</p> <p data-bbox="544 1541 1230 1612">Padronização de esquadrias: 0,38 (ponderando todos os edifícios).</p> <p data-bbox="544 1617 1098 1646">Banco de dados sobre construtibilidade: Não.</p> <p data-bbox="544 1650 1257 1722">Padronização de método construtivo em situação de baixa construtibilidade: Sim.</p>
24	EXTRAÍDOS DOS PROJETOS PELO AUTOR (2020)

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 69 - Slide 25 – Indicadores obtidos com o sistema preliminar

INDICADORES		NOTAS DOS PROJETOS TESTADOS PARA AJUSTE DO SISTEMA	
<p> PERGUNTA 03: Com base em seu conhecimento e experiência, as notas refletem a construtibilidade destes empreendimentos?</p>			
	Projeto		Nota [%]
Estrutura em Concreto Armado		Nota de todo o projeto	68,40
		Nota dos indicadores de design do produto ("projeto")	71,79
		Nota dos indicadores de planejamento do empreendimento	61,01
		Nota dos indicadores relacionados à execução	100,00
Alvenaria Estrutural		Nota de todo o projeto	69,38
		Nota dos indicadores de design do produto ("projeto")	75,49
		Nota dos indicadores de planejamento do empreendimento	61,01
		Nota dos indicadores relacionados à execução	100,00
Parede em Concreto Armado		Nota de todo o projeto	69,51
		Nota dos indicadores de design do produto ("projeto")	69,15
		Nota dos indicadores de planejamento do empreendimento	81,56
		Nota dos indicadores relacionados à execução	100,00
25	EXTRAÍDOS DOS PROJETOS PELO AUTOR (2020)		

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Figura 70 - Slide 26 – Sugestões finais

INDICADORES	INDICADORES UTILIZADOS
<p> PERGUNTA 04: Se fosse alterar algo neste sistema, o que seria?</p>	
26	AUTOR (2020)

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

APÊNDICE E – Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas

Veja no Quadro 21 os índices para cada tipo de parede. A análise dos valores pode ser realizada considerando-se a escala de construtibilidade presente na Figura 71:

Figura 71 – Escala de construtibilidade



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Para retornar à página que explica o indicador, [clique aqui](#).

Quadro 21 – Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas

SISTEMA DE VEDAÇÕES VERTICAIS	DESCRIÇÃO	ECONOMIA DE MÃO DE OBRA
Gesso acartonado	Gesso acartonado nas áreas internas, incluindo molhadas, como parede de cozinha ou banheiro.	1,00
<i>Light Steel Frame</i>	Sistema de vedações em <i>Light Steel Frame</i>	1,00
Chapa cimentícia	Vedação em chapas cimentícias	0,95
Fachada envidraçada / divisórias em vidro em todo o pé-direito / divisória naval / guarda-corpo pré-fabricado	Fachada envidraçada / divisórias em vidro em todo o pé-direito	1,00
	Guarda-corpo pré-fabricado	1,00
	Divisória naval	1,00
	Divisória naval com acabamentos estilo pedra/amadeirado	0,90
Parede pré-fabricada em concreto	Pilares e paredes externas pré-fabricados lisos	1,00
	Parede em concreto pré-fabricado com acabamento em massa corrida.	0,90
	Parede em concreto pré-fabricado com revestimento argamassado, acabamentos amadeirados ou em pedra natural.	0,60
Painéis de concreto leve, concreto celular autoclavado e concreto autoclavado aerado	Painéis de concreto leve com acabamento em massa corrida	0,85
	Painéis de concreto leve com revestimento argamassado, acabamentos amadeirados ou em pedra natural.	0,55
Parede em concreto armado moldado <i>in loco</i>	Paredes externas e pilares concretados <i>in loco</i> e lisos, sem acabamentos adicionais	0,90
	Parede concretada <i>in loco</i> com acabamento em massa corrida	0,80
	Parede concretada <i>in loco</i> com revestimento argamassado, acabamentos amadeirados ou em pedra natural.	0,50
Alvenaria estrutural	Alvenaria estrutural com acabamento em massa corrida	0,30
	Alvenaria estrutural com revestimento argamassado, acabamentos amadeirados ou em pedra natural.	0,10
Alvenaria em blocos ou tijolos (convencional)	Alvenaria com ou sem revestimento argamassado	0,05

Fonte: Singapura (2017), Autor (2020)

APÊNDICE F – Parcelas do fator k

Veja no Quadro 22 ao Quadro 33 as parcelas necessárias ao cálculo do fator k (definidas previamente pela equação 3). A análise dos valores pode ser realizada considerando-se a escala de construtibilidade presente na Figura 72:

Figura 72 – Escala de construtibilidade



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Quadro 22a – Parcela f_p (execução de formas de pilares)

Característica	f_p
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações:1).	0,06
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações:1).	0,06
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações:2).	0,07
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações:2).	0,08
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações:4).	0,09
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações:4).	0,10
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:2)	0,10
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:2).	0,12
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:2).	0,08
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:2).	0,09
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:4).	0,15
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:4).	0,19
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:4).	0,11
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:4).	0,13
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:6).	0,18
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:6).	0,23
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:6).	0,13
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:6).	0,15
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:8).	0,20
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:8).	0,25
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:8).	0,15
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações:8).	0,17
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:10).	0,23
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:10).	0,28
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:10).	0,16
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:10).	0,19
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:12).	0,24
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:12).	0,30
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:12).	0,17
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:12).	0,19
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:14).	0,24
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:14).	0,31
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:14).	0,17

Fonte: Autor (2020).

(CONTINUA NA PÁGINA SEGUINTE)

Quadro 22b – Parcela f_p (execução de formas de pilares)

Característica	f_p
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:18)	0,26
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:14).	0,20
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:18).	0,33
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:18).	0,18
Forma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações:18).	0,21
Forma de pilares circulares, com área média das seções menor ou igual a 0,28 m ² , pé-direito simples, em madeira, (utilizações:2).	0,07
Forma de pilares circulares, com área média das seções maior que 0,28 m ² , pé-direito simples, em madeira, (utilizações:2)	0,08
Forma de pilares circulares, com área média das seções menor ou igual a 0,28 m ² , pé-direito duplo, em madeira, (utilizações:2)	0,06

Fonte: Autor (2020)

Para retornar à página que explica o fator, [clique aqui](#).Quadro 23a – Parcela f_v (execução de formas de vigas)

Característica	f_v
Forma de viga, escoramento com pontalete de madeira, pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 1).	0,06
Forma de viga, escoramento com pontalete de madeira, pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 2).	0,08
Forma de viga, escoramento com pontalete de madeira, pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 4).	0,10
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito duplo, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 2).	0,06
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito duplo, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 2).	0,06
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 2).	0,09
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 2).	0,07
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito duplo, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 4).	0,07
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito duplo, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 4).	0,07
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 4).	0,10
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 4).	0,09
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito duplo, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 6).	0,08
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito duplo, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 6).	0,08
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 6).	0,12
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 6).	0,10
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito duplo, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 8).	0,09
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito duplo, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 8).	0,09
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 8).	0,13
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, (utilizações: 8).	0,11
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito duplo, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 10).	0,10
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito duplo, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 10).	0,10
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 10).	0,15
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 10).	0,12
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito duplo, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 12).	0,11
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito duplo, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 12).	0,10
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 12).	0,17
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 12).	0,13
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito duplo, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 14).	0,12

Fonte: Autor (2020)

(CONTINUA NA PÁGINA SEGUINTE)

Quadro 23b – Parcela f_v (execução de formas de vigas)

Característica	f_v
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito duplo, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 18).	0,13
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito duplo, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 14).	0,11
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 14).	0,18
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 14).	0,15
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito duplo, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 18).	0,15
Forma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 18).	0,22
Forma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, (utilizações: 18).	0,17

Fonte: Autor (2020)

Para retornar à página que explica o fator, **clique aqui**.Quadro 24a – Parcela f_l (execução de formas de lajes)

Característica	f_l
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 10)	0,23
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 12)	0,23
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 14)	0,24
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 18)	0,25
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 2)	0,13
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 4)	0,17
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 6)	0,18
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 8)	0,21
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 10)	0,39
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 12)	0,40
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 14)	0,41
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 18)	0,43
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 2)	0,23
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 4)	0,29
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 6)	0,34
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 8)	0,37
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 1)	0,04
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 2)	0,04
Forma de laje maciça com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 4)	0,06
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 10)	0,21
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 12)	0,22
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 14)	0,22
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 18)	0,23
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 2)	0,12
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 4)	0,16
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 6)	0,20
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 8)	0,20
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 10)	0,35
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 12)	0,36

Fonte: Autor (2020)

(CONTINUA NA PÁGINA SEGUINTE)

Quadro 24b – Parcela f_i (execução de formas de lajes)

Característica	f_i
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 4)	0,26
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 14)	0,37
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 18)	0,38
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 2)	0,20
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 6)	0,30
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 8)	0,33
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 1)	0,03
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 2)	0,04
Forma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em madeira serrada, (utilizações: 4)	0,05
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 10)	0,14
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 12)	0,14
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 14)	0,15
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 18)	0,15
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 8)	0,13
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 10)	0,19
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 12)	0,20
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 14)	0,20
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 18)	0,21
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 8)	0,18
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 10)	0,13
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 12)	0,13
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 14)	0,13
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 18)	0,14
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito duplo, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 8)	0,12
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 10)	0,17
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 12)	0,18
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 14)	0,18
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 18)	0,19
Forma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 8)	0,16

Fonte: Autor (2020)

Quadro 25 – Parcela f_e (execução de formas de escadas)

Característica	f_e
Forma para escadas, em madeira serrada, (utilizações: 1).	0,01
Forma para escadas, em madeira serrada, (utilizações: 2).	0,01
Forma para escadas, em chapa de madeira compensada resinada, (utilizações: 4).	0,01
Forma para escadas, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 6).	0,02
Forma para escadas, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 8).	0,02
Forma para escadas, em chapa de madeira compensada plastificada, (utilizações: 10).	0,02

Fonte: Autor (2020)

Para retornar à página que explica o fator, [clique aqui](#).

Quadro 26 – Parcela a_{pv} (armação de pilares e vigas cortada e dobrada em canteiro)

Característica	a_{pv}
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,022
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,032
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,047
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,067
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,097
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,150
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 20,0 mm	0,232
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 25,0 mm	0,399
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,015
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,021
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,029
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,041
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,057
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,087
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 20,0 mm	0,133
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 25,0 mm	0,228

Fonte: Autor (2020)

Quadro 27 – Parcela a_l (armação de lajes cortada e dobrada em canteiro)

Característica	a_l
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 4,2 mm	0,009
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,012
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,017
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,024
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,034
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,050
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,093
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 20,0 mm	0,135
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 4,2 mm	0,013
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,017
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,026
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,039
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,057
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,084
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,137
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 20,0 mm	0,235

Fonte: Autor (2020)

Para retornar à página que explica o fator, [clique aqui](#).Quadro 28 – Parcela a_e (armação de escadas cortada e dobrada em canteiro)

Característica	a_e
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,0003
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,0004
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,0006
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,0012
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,0026
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,0133

Fonte: Autor (2020)

Quadro 29 – Parcela a_{pv} (armação de pilares e vigas pré-cortada e pré-dobrada)

Característica	a_{pv}
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,046
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,061
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,081
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,108
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,149
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,219
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 20,0 mm	0,333
Armação de pilar ou viga em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 25,0 mm	0,570
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,026
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,033
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,045
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,060
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,082
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,121
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 20,0 mm	0,184
Armação de pilar ou viga em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 25,0 mm	0,313

Fonte: Autor (2020)

Para retornar à página que explica o fator, [clique aqui](#).Quadro 30 – Parcela a_l (armação de lajes pré-cortada e pré-dobrada)

Característica	a_l
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 4,2 mm	0,020
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,025
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,033
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,045
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,061
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,086
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,157
Armação de laje em uma edificação térrea ou sobrado utilizando aço CA-50 de 20,0 mm	0,225
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 4,2 mm	0,037
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,045
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,060
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,081
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,110
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,156
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,243
Armação de laje em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 20,0 mm	0,410

Fonte: Autor (2020)

Quadro 31 – Parcela a_e (armação de escadas pré-cortada e pré-dobrada)

Característica	a_e
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-60 de 5,0 mm	0,0004
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 6,3 mm	0,0005
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 8,0 mm	0,0008
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 10,0 mm	0,0015
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 12,5 mm	0,0033
Armação de escada, com 2 lances, utilizando aço CA-50 de 16,0 mm	0,0200

Fonte: Autor (2020)

Quadro 32 – Parcela c_p (concretagem de pilares)

Característica	C_p
Concretagem de pilares, com uso de grua em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m ²	0,166
Concretagem de pilares, com uso de bomba em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m ² .	0,185
Concretagem de pilares, com uso de grua em edificação com seção média de pilares maior que 0,25 m ² .	0,224

Fonte: Autor (2020)

Quadro 33 – Parcela C_{vle} (concretagem de vigas, lajes e escadas)

Característica	C_{vle}
Concretagem de vigas ou lajes maciças/nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ²	0,706
Concretagem de vigas ou lajes maciças/nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes maior do que 20 m ²	0,774
Concretagem de vigas ou lajes maciças/nervuradas com jericas em elevador de cabo em edificação de até dezesseis andares, com área média de lajes menor ou igual a 20 m ²	0,186
Concretagem de vigas ou lajes maciças/nervuradas com jericas em elevador de cabo em edificação de multipavimentos até dezesseis andares, com área média de lajes maior do que 20 m ²	0,226
Concretagem de vigas ou lajes maciças/nervuradas com jericas em cremalheira em edificação de multipavimentos até dezesseis andares, com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² .	0,235
Concretagem de vigas ou lajes maciças/nervuradas com jericas em cremalheira em edificação de multipavimentos até dezesseis andares, com área média de lajes maior do que 20 m ²	0,278
Concretagem de vigas ou lajes maciças/nervuradas com grua de caçamba de 500 L em edificação de multipavimentos até dezesseis andares, com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² .	0,481
Concretagem de vigas ou lajes maciças/nervuradas com grua de caçamba de 500 L em edificação de multipavimentos até dezesseis andares, com área média de lajes maior do que 20 m ²	0,568
Concretagem de vigas ou qualquer tipo de laje com baldes em edificação de multipavimentos até quatro andares, com área média de lajes menor ou igual a 20 m ²	0,036

Fonte: Autor (2020)

Para retornar à página que explica o fator, **clique aqui**.

APÊNDICE G – Uso de mão de obra no Sistema estrutural

Os indicadores se encontram no Quadro 34. A análise dos valores pode ser realizada considerando-se a escala de construtibilidade presente na Figura 73:

Figura 73 – Escala de construtibilidade



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Para retornar à página de cálculo do indicador, [clique aqui](#).

Quadro 34 – Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)

SISTEMA ESTRUTURAL	DESCRIÇÃO	ECONOMIA DE MÃO DE OBRA
Concreto pré-fabricado	Totalmente pré-fabricado	1,00
	Pilar ou parede pré-fabricados com laje sem vigas internas e vigas perimetrais (<i>flat plate</i>) (altura da viga ≤ 60 cm)	0,90
	Pilar ou parede pré-fabricados com laje sem vigas internas e vigas perimetrais (<i>flat plate</i>) (altura da viga > 60 cm)	0,80
	Pilar ou parede pré-fabricados com laje cogumelo sem vigas internas e vigas perimetrais (<i>flat plate</i>) (altura da viga ≤ 60 cm)	0,85
	Pilar ou parede pré-fabricados com laje cogumelo sem vigas internas e vigas perimetrais (<i>flat plate</i>) (altura da viga > 60 cm)	0,75
	Vigas e lajes pré-fabricadas	0,90
	Vigas e pilares/paredes pré fabricados	0,90
	Pilar ou parede pré-fabricados e laje pré-fabricada	0,90
	Somente laje pré-fabricada	0,70
	Somente pilares ou paredes pré-fabricados	0,70
<i>Light Steel Frame</i>	Estrutura para <i>Light Steel Frame</i>	1,00
Sistema estrutural em aço - aplicável somente se for laje sobre assoalho de aço (<i>steel decking</i>) ou laje pré-fabricada)	Vigas e pilares metálicos (sem encamisamento em concreto)	1,00
	Vigas e pilares metálicos (com encamisamento em concreto)	0,95
Concreto armado convencional concretado <i>in loco</i> (Calcular fator k separadamente)	Laje sem vigas internas e com vigas perimetrais (<i>flat plate</i>) (altura da viga ≤ 60 cm)	0,85k
	Laje sem vigas internas e com vigas perimetrais (<i>flat plate</i>) (altura da viga > 60 cm)	0,75k
	Laje cogumelo sem vigas internas e com vigas perimetrais (altura da viga ≤ 60 cm)	0,80k
	Laje cogumelo sem vigas internas e com vigas perimetrais (altura da viga > 60 cm)	0,70k
	Vigas internas em uma direção	0,70k
	Vigas internas reticulares (duas direções perpendiculares)	0,45k
Sistema de telhado	Laje de cobertura sem telhado	1,00
	Telhado metálico integrado sobre treliça/tesoura metálica (telhados com telhas sanduíche possuindo forro metálico abaixo e isolamento acústico intermediário).	1,00
	Telhado metálico convencional sobre treliça/tesoura metálica ou de madeira	0,95
	Telhado em fibrocimento sobre treliça/tesoura metálica ou de madeira	0,85
	Telhas cerâmicas sobre encaibramento fixo a terças metálicas, de concreto pré-fabricado ou madeira	0,75
	Telhado cerâmico sobre treliça/tesoura metálica ou de madeira	0,70
	Telhado metálico sobre encaibramento fixo a terças concretadas <i>in loco</i>	0,60
	Telhas cerâmicas sobre encaibramento fixo a terças concretadas <i>in loco</i>	0,55
Parede pré-fabricada em concreto	Pilares e paredes externas pré-fabricados lisos (módulos pequenos suportados por pilaretes)	1,00
Alvenaria estrutural	Alvenaria estrutural (blocos cerâmicos ou de concreto)	0,30
Parede em concreto armado moldado <i>in loco</i>	Paredes externas e pilares concretados <i>in loco</i> e lisos, sem acabamentos adicionais - equivalente ao elemento estrutural.	0,90

Fonte: Singapura (2017), Autor (2020)

BASES DE FORMATAÇÃO

A formatação deste trabalho foi feita a partir das seguintes bases:

- *Dimensões de páginas, margens e espaçamentos*: produzidas segundo o padrão da UFSC, obrigatório para teses e dissertações (BRASIL, 2019), em páginas tamanho A4.
- *Formato de referências bibliográficas, citações e legendas*: segundo normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, em suas versões em vigor (ABNT, 2002, 2011, 2015b, 2018).
- *Unidades de medida*: segundo a legislação metrológica brasileira para a apresentação de unidades de medida em textos de caráter técnico ou científico (BRASIL, 1988), com as devidas atualizações da Portaria nº 590, de 02 de dezembro de 2013 do INMETRO (BRASIL, 2013b).

A versão final submetida à Biblioteca Universitária será entregue no formato obrigatório em PDF-A. O leitor que desejar a versão digital com recursos de navegação como hiperlinks para seções do texto e abreviaturas e siglas, caso não funcionem nesse arquivo, deve entrar em contato com o autor pelo e-mail joapaulojpma@hotmail.com.

