

Guilherme Fin

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS CONCEITOS DE  
CONSTRUTIBILIDADE NOS SERVIÇOS INICIAIS DE EMPREENDIMENTOS DE  
CONSTRUÇÃO**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel/Licenciado em Engenharia Civil  
Orientador: Prof. Cristine do Nascimento Mutti, Ph.D.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fin, Guilherme

Análise da relação entre construtibilidade e fases  
preliminares de projetos de construção civil / Guilherme  
Fin ; orientadora, Cristine do Nascimento Mutti, 2019.  
94 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Construtibilidade. 3. Etapas  
preliminares da construção . 4. Produtividade. 5. Métodos  
de análise de construtibilidade. I. Mutti, Cristine do  
Nascimento. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Guilherme Fin

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS CONCEITOS DE  
CONSTRUTIBILIDADE NOS SERVIÇOS INICIAIS DE EMPREENDIMENTOS DE  
CONSTRUÇÃO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Civil” e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 01 de julho de 2019.

---

Prof.<sup>a</sup> Luciana Rohde, Dr.<sup>a</sup>

Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**



Prof.<sup>a</sup> Cristine do Nascimento Mutti, Ph.D.

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.<sup>a</sup> Fernanda Fernandes Marchiori, Dr.<sup>a</sup>

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Victor Delegregó

Grupo SEACon - UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais e irmão.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este trabalho primeiramente à minha família. Aos meus pais, Paulo e Cidiane, e ao meu irmão, Vinicius, pelo acompanhamento durante toda a graduação, sempre dando o apoio e incentivo necessário.

Agradeço também aos companheiros de curso, que me acompanharam durante todos esses anos de graduação, e que compartilharam momentos de alegria e de dificuldades, tornando a faculdade uma experiência muito mais agradável.

Um agradecimento especial aos meus amigos, principalmente os mais próximos, aqueles que aguentaram todos os desabafos e deram grande suporte sempre que solicitados. Vocês contribuíram muito com o desenvolvimento deste trabalho, principalmente alguns de vocês, que sabem quem são.

À minha orientadora Cristine do Nascimento Mutti, por todo o suporte prestado, sempre se demonstrando muito atenciosa, sendo um exemplo não só de profissional como de pessoa, sempre me recebendo com um sorriso no rosto e disposta a ajudar em qualquer aspecto. Definitivamente um exemplo a ser seguido.

Ao Victor Delegregio, pelos ensinamentos acerca do tema durante o desenvolvimento deste trabalho.

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”*

(José de Alencar)

## RESUMO

A falta da integração entre a equipe de projeto e de execução em empreendimentos na indústria da construção civil é notória. Tal situação acarreta em deficiências na execução do projeto e muitas vezes aumento do custo devido a retrabalhos. Com o intuito de amenizar tais problemas, surge o conceito de construtibilidade, que aborda a facilidade de construção de uma edificação. Este trabalho tem como base uma revisão bibliográfica que aborda variados estudos, principalmente internacionais. Estes apresentam diversos princípios e diretrizes para a aplicação da construtibilidade, levantando os benefícios dessa aplicação, como aumento de produtividade, aumento da qualidade e segurança do serviço, melhoria da relação interpessoal da equipe, entre outros. Além disso, existem métodos com o intuito de se realizar a análise da construtibilidade, sendo métodos práticos e capazes de mensurar as propriedades de construtibilidade de projetos. Dentre os métodos existentes de análise de construtibilidade na literatura, dois foram escolhidos para serem detalhados a fim de se entender quais considerações foram abordadas para a quantificação final da pontuação de construtibilidade de um projeto. Foi observado que algumas etapas presentes em obras de construção civil não foram consideradas em tal quantificação, então foi estudado o motivo para tal consideração. Foram definidas três etapas a serem abordadas pelo trabalho: canteiro de obras, movimentação de terra e fundações, sendo levantados os aspectos influentes em cada uma separadamente para uma posterior comparação com os métodos citados. Após análise entre as etapas e os métodos, foi concluído que os métodos não poderiam ser aplicados àquelas etapas em específico por apresentarem características distintas, mas que outros aspectos de construtibilidade ainda poderiam ser considerados para as mesmas. Por fim, foi sugerida a consideração de outros aspectos na quantificação de construtibilidade de projetos para essas etapas, como princípios de construtibilidade que possam ser aplicados como soluções.

**Palavras-chave:** Construtibilidade. Produtividade. Etapas preliminares.

## ABSTRACT

*The lack of integration between the design and construction stages in the construction industry is remarkable. Such situation leads to deficiencies in project execution and cost increases due to rework. In order to soften such problems, the concept of constructability comes up, which addresses the ease of construction of a building. This work addresses several studies, mainly international, that present principles and guidelines for constructability application, raising the benefits of its application, such as productivity rise, service quality and safety improvement, staff interpersonal relationships improvement, among others. In addition, there are methods capable of performing a constructability analysis, being a practical way to measure the constructability properties of projects. Among the already existing methods of constructability analysis in the literature, two of them were chosen to be detailed in order to understand what was considered for the final quantification of the constructability score of a project. It was observed that some stages in civil construction works were not considered in such quantification, so the reason for such consideration was studied. Three phases were defined to be studied in this work: site layout, earthmoving and foundations, raising the influential aspects in each one separately for a later comparison with the mentioned methods. After analysis between the phases and the methods, it was concluded that the methods could not be applied to those specific phases because of their different characteristics. However, other aspects of constructability could still be considered. Finally, it was suggested to consider other aspects in the quantification of constructability of projects for these stages, such as constructability principles and guidelines that could be applied as solutions.*

**Keywords:** *Constructability. Productivity. Early phases.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento de edifício ao longo de suas fases.....	23
Figura 2– Fatores Influentes na performance do Maquinário .....	63
Figura 3 – Fator de Correspondência vs. Eficiência da Operação .....	66
Figura 4 – Fluxograma da metodologia .....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pontuação mínima de construtibilidade de projeto para Superestruturas de Novas Obras de Construção .....	34
Quadro 2- Pontuação mínima de construtibilidade de projeto para Porão de Novas Obras de Construção.....	34
Quadro 3- Sistema Estrutural – Valor de $S_s$ .....	36
Quadro 4- Sistema de Paredes – Valor de $S_w$ .....	38
Quadro 5 - Projeto para tecnologias de Fabricação e Montagem – Valor de N (continua).....	40
Quadro 6 – <i>Buildability Indices</i> da superestrutura .....	46
Quadro 7 - <i>Buildability Indices</i> dos sistemas de acabamento (continua).....	48
Quadro 8 - <i>Buildability Indices</i> para os Aspectos dos serviços construtivos.....	50
Quadro 9 - <i>Buildability Indices</i> para os Elementos de construção (continua) .....	51
Quadro 10 - <i>Buildability Indices</i> para os Fatores específicos do local (continua) .....	53
Quadro 11 - Análise dos fatores nas etapas preliminares.....	80
Quadro 12 - Princípios de construtibilidade.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– <i>Buildability Weightings</i> dos componentes do projeto .....	44
Tabela 2 - <i>Buildability Weightings</i> dos elementos de sistemas de acabamentos .....	44
Tabela 3 - Participação percentual média dos serviços em um orçamento – edificações de padrão normal, de 8 a 12 pavimentos .....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABFP - *Architectural Buildable Feature Points*

BAM – *Buildability Assessment Model*

BCA - *Building and Construction Authority*

BDAS – *Buildability Design Appraisal System*

BI – *Buildability Index*

BScore – *Buildability Score*

BW – *Buildability Weighting*

CII – *Construction Industry Institute*

CII Australia – *Construction Industry Institute Australia*

CIRIA – *Construction Industry Research and Information Association*

FC – Fator de Correspondência

LSI - *Labour Saving Index*

SBFP - *Structural Buildable Feature Points*

SEC - Subpontuação para elementos de construção

SFEL - Subpontuação para Fatores Específicos de Local

SSA - Subpontuação para os Sistemas de Acabamento

SSASC - Subpontuação para Sistemas de Aspectos de Serviços Construtivos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	17
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA.....	17
1.4	MÉTODO.....	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>CONSTRUTIBILIDADE .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>PRINCIPIOS DA CONSTRUTIBILIDADE.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<b>DIFICULDADES DA IMPLANTAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5</b>	<b>MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE.....</b>	<b>30</b>
2.6	<i>Buildability Design Appraisal System (BDAS) .....</i>	31
<b>2.6.1</b>	<b>Sistema Estrutural (45 pontos).....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Sistema de Paredes (45 pontos) .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Sistema de Tecnologias de Produção e Montagem (20 pontos).....</b>	<b>39</b>
2.7	<i>Buildability Assessment Model (BAM).....</i>	43
<b>2.7.1</b>	<b>Sistemas de Supraestrutura.....</b>	<b>45</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Sistemas de acabamento .....</b>	<b>47</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Sistemas de Aspectos de Serviços Construtivos.....</b>	<b>49</b>
<b>2.7.4</b>	<b>Elementos de Construção .....</b>	<b>50</b>
<b>2.7.5</b>	<b>Fatores Específicos do local.....</b>	<b>52</b>
<b>2.7.6</b>	<b>Pontuação Bônus .....</b>	<b>54</b>
<b>2.7.7</b>	<b>Pontuação total de construtibilidade (BScore) .....</b>	<b>54</b>

2.8	IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS PRELIMINARES.....	55
2.9	ETAPAS PRELIMINARES.....	57
<b>2.9.1</b>	<b>CANTEIRO DE OBRAS:.....</b>	<b>57</b>
<b>2.9.2</b>	<b>MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS .....</b>	<b>62</b>
<b>2.9.3</b>	<b>FUNDAÇÕES .....</b>	<b>68</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>72</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>77</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>84</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	84
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	85



## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção é uma das maiores, chegando a contribuir com cerca de 10% do Produto Interno Bruto (PIB) dos países industrializados, sendo considerada a mesma com impacto significativo nas economias nacionais. Por outro lado, indústria da construção civil possui uma colocação desfavorável quando comparada a outras indústrias no quesito controle de desempenho de projeto (ALLMON et al, 2000).

É muito comum a separação dos processos de projeto e construção no decorrer do desenvolvimento de um edifício quando se trata de métodos atuais. Consequentemente, não é raro de se observar construtores reclamando de projetos devido às dificuldades encontradas na hora de construir (WONG, 2007).

Segundo Banwell (1964), projeto e construção devem ser considerados como um conjunto na situação contratual tradicional. Os conhecimentos e técnicas especializadas dos construtores podem se tornar inutilizáveis quando os mesmos são excluídos da fase de projeto. Os construtores são membros da equipe e deveriam estar nela desde o começo.

Nesse contexto, surge uma das primeiras definições de construtibilidade. A CIRIA *Construction Industry Research and Information Association* define construtibilidade como sendo “A extensão com que o projeto da edificação facilita a construção, levando em consideração os requisitos globais da edificação construída” (CIRIA, 1983, apud WONG, 2007, p. 25).

Existem diversos benefícios evidentes por se implementar construtibilidade em qualquer projeto de edificação. Alguns podem ser facilmente observados, outros mais ocultos, alguns quantitativos enquanto outros mais subjetivos. Dentre os benefícios, pode-se destacar não só aqueles que são mensuráveis, como custo, tempo e qualidade, mas também um ganho na situação fisiológica e psicológica dos membros da equipe (GRIFFITH; SIDWELL, 1997).

Por mais que a melhoria da construtibilidade seja uma questão que atrai há muito tempo pesquisadores de diversos países como Reino Unido, Estados Unidos, Austrália, Singapura e Hong Kong (WONG, 2007), o conceito de construtibilidade ainda é pouco difundido dentre as construtoras brasileiras. Racionalização construtiva e métodos construtivos (por exemplo, pré-fabricados) são algumas medidas consideradas associadas à construtibilidade de forma indireta e vêm sendo consideradas, porém, não abrangem todos os aspectos relacionados ao tema (RODRIGUES, 2005).



Alguns trabalhadors acadêmicos passaram a tratar sobre o assunto, inclusive dentro da Universidade Federal de Santa Catarina (ver Delegrado, 2017; Maestri, 2018; e o projeto de qualificação de mestrado de Maciel, 2019). Ainda sobre o tema, o SEACon (Competitividade e sustentabilidade na construção) também está desenvolvendo uma pesquisa, o projeto Identificação de fatores e criação de modelos de avaliação da construtibilidade. O presente trabalho de conclusão de curso faz parte dos estágios iniciais do projeto.

A construtibilidade é um conceito complexo e difícil de ser considerado, principalmente pela grande quantidade e variabilidade dos fatores envolvidos no planejamento e execução de empreendimentos. Enquanto muitas publicações internacionais sobre o tema tendem a focar na construção como um todo, ou em partes da superestrutura, o projeto em andamento, proposto por Mutti et al (2018) tem o foco em etapas anteriores. Em tais etapas, as análises e considerações são bastante dependentes da experiência da equipe de projeto e construção, apresentando uma característica um pouco diferentes das etapas posteriores. Além disso, os processos construtivos têm razoável similaridade com processos praticados no exterior, permitindo assim, a ampliação da literatura base, podendo-se considerar os estudos internacionais, justificando dessa forma, o foco da pesquisa para se iniciar uma exploração do tópico.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de difundir o conceito de construtibilidade pois o mesmo apresenta princípios favoráveis à indústria da construção e que não devem ser ignorados. Alguns métodos em contexto internacional foram desenvolvidos a fim de se quantificar um valor de construtibilidade para projetos de edificação, cada um com suas peculiaridades e considerações específicas.

Portanto, foi realizado um estudo, baseado nos métodos já existentes de quantificação de construtibilidade, se tais métodos podem ser analisados para outras etapas de um empreendimento que não foram anteriormente, ou amplamente consideradas, permitindo ampliar o estudo e a aplicação do tema para gerar mais benefícios à indústria da construção.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Observar aplicabilidade dos conceitos de construtibilidade para os serviços preliminares de uma obra de construção civil.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer quais são os serviços iniciais de obra que teriam relevância para serem estudadas dentro do contexto de construtibilidade.
- Estabelecer quais são os aspectos influentes que podem ser considerados em cada uma das etapas.
- Levantar, dentre os métodos de avaliação da construtibilidade existentes, quais poderiam ser relacionados ou comparados com os serviços iniciais
- Analisar a relação entre os métodos de avaliação de construtibilidade selecionados e os aspectos influentes nas etapas preliminares.

## 1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

O presente trabalho foi conduzido visando responder a seguinte questão de pesquisa: É possível aplicar o conceito de construtibilidade às fases iniciais da execução de um empreendimento?

## 1.4 MÉTODO

Foi realizada uma revisão abrangente da literatura, visando conectar o tema de construtibilidade com etapas preliminares de obras de construção civil. Foi abordada primeiramente, uma introdução dos conceitos de construtibilidade e seus princípios, para posteriormente, serem apresentados os métodos de avaliação da construtibilidade de projetos.

Através do estudo dos serviços iniciais de um empreendimento, selecionou-se os mais relevantes a se estudar, levando em consideração a presença no caminho crítico de planejamentos, custo e tempo, e posteriormente, levantando quais seriam os aspectos influentes em cada etapa individualmente. Após levantados tais aspectos, fez-se uma análise qualitativa

cruzada entre os serviços iniciais e os métodos de avaliação de construtibilidade selecionados, onde foi abordada a relação entre os mesmos.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está subdividido em 5 capítulos principais. O capítulo 1 introduz o tema a ser tratado no mesmo, além de apresentar a justificativa de escolha tema e os principais objetivos a serem alcançados, além de apresentar a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da bibliográfica a respeito da construtibilidade, definindo seus conceitos, apresentando seus benefícios, princípios e suas dificuldades de implementação. Também são citados os métodos de avaliação da construtibilidade existentes, sendo detalhados dois dos mais relevantes da literatura, o BDAS e o BAM. Ainda no capítulo 2, são identificadas as etapas preliminares a serem abordadas, sendo elas canteiro de obras, movimentação de terras e fundações. Tais etapas são apresentadas com base em estudos da literatura, onde suas características e os aspectos influentes em cada uma são identificados.

O capítulo 3 contém a metodologia do trabalho, apresentando um fluxograma explicando como foi realizada a revisão bibliográfica em detalhes, e quais as sequências e considerações adotadas durante o desenvolvimento do mesmo.

O capítulo 4 apresenta a análise e discussão através da observação dos estudos realizados durante a revisão bibliográfica, visando a comparação entre os métodos de análise de construtibilidade definidos, e a etapas preliminares abordadas no decorrer do trabalho, além da apresentação de uma possível nova abordagem para consideração da construtibilidade em projetos.

O capítulo 5 apresenta as conclusões finais e algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONSTRUTIBILIDADE

Segundo Lam et al (2011), os primeiros relatos sobre construtibilidade advêm do Reino Unido, com uma publicação dos anos 60 nomeada *Survey of Problems before the Construction Industries* (1962), e popularizada como “*Emmerson Report*”. Encomendado pelo Ministério do Trabalho inglês, em sua publicação, que tinha por objetivo identificar problemas na indústria da construção daquela época, Lord Emmerson relata uma preocupação com a divisão entre os processos de projeto e de construção, apontando como um dos principais fatores para a ineficiência da indústria da construção no Reino Unido, a falta de comunicação entre a equipe de projeto e a de construção (GRIFFITH, 1986).

Lam et al (2011), ainda destacam outros autores britânicos pioneiros no desenvolvimento da ideia de construtibilidade, ver (Banwell, 1964; Tavistock 1965; EDC 1967 e NEDO 1975). O Banwell Report (1964), dando continuidade aos pensamentos de Emmerson e chamando atenção para a fase pré-contratual e de desenvolvimento de projeto, sugeriu que a construção e projeto sejam considerados conjuntamente, alegando que no cenário comum, os construtores são de tal maneira excluída da fase de projeto, que seus conhecimentos e técnicas não são utilizados do modo como poderiam (GRIFFITH, 1986).

A partir de 1964, a necessidade por integrar diferentes fases de desenvolvimento, desencadeou uma série de novos estudos por diferentes países (WONG, 2007), surgindo assim, o termo “*buildability*” no Reino Unido, e “*constructability*” nos Estados Unidos.

No Reino Unido, em 1979, a (CIRIA) *Construction Industry Research and Information Association*, teve como seu objetivo, investigar os principais problemas da prática da construção no país, retomando a preocupação da relação entre projeto e construção exposta anteriormente por Emmerson e Banwell. O conceito de *buildability* foi definido pela CIRIA, a partir da ideia de que os projetos da época não eram economicamente eficientes em relação aos processos de construção, sendo definido como “A extensão com que o projeto da edificação facilita a construção, levando em consideração os requisitos globais da edificação construída” (CIRIA, 1983 apud GRIFFITH, 1986).

A definição da CIRIA demonstra um direcionamento do conceito em torno do projeto ao se utilizar das palavras “projeto de um edifício”, sendo hoje utilizado quando se quer referir

à definição clássica de construtibilidade. Nos Estados Unidos, porém, dificilmente utiliza-se tal interpretação (DELEGREGO, 2017).

Nos Estados Unidos, no início dos anos 80, a preocupação com a relação entre o custo e a eficiência do setor da construção civil no país conduziu a um estudo que visava focar essa relação entre custo e eficiência dos projetos, onde, elaborado por um grupo de estudos, em seu relatório (*Business Roundtable*, 1982), apresentou que os ganhos a serem obtidos através de uma boa construtibilidade durante todo o processo de construção eram expressivos (GRIFFITH; SIDWELL, 1997). Tal relatório abriu espaço para o estabelecimento do *Construction Industry Institute* (CII). O termo utilizado para construtibilidade, definido pelo (CII), é o de “*constructability*” como sendo: “O uso otimizado do conhecimento e experiência de construção em planejamento, projeto, contratação e operação em campo para se obter os objetivos gerais de projeto” (CII, 2012 p. 45). Embora o conceito utilizado seja parecido ao do Reino Unido, ao invés de detalhes e técnicas de produtividade em campo oriundas da racionalização do projeto, ele tem um foco voltado ao desenvolvimento de um sistema de gerenciamento, permitindo que o conhecimento em construção seja levado adiante, desde concepções de pré-projeto até a fase de entrega do mesmo (CHEETHAM; LEWIS, 2001).

Já na Austrália, a abordagem tem direção mais voltada ao conceito adotado nos Estados Unidos, onde através da ideia de focar nas questões que podem ser consideradas, ao invés de se recomendar práticas específicas para a melhoria da construtibilidade (GRIFFITH; SIDWELL, 1997), o *Construction Industry Institute Australia* (CII Australia), define construtibilidade como “Uma abordagem para a integração ótima entre o conhecimento de construção no processo de entrega do projeto e no balanceamento das várias restrições ambientais e de projeto para se atingir as metas do projeto e performance de construção em um nível ideal” (FRANCIS et al., 1999, p. 135).

Portanto, revisando os conceitos desenvolvidos de construtibilidade, pode-se notar que o termo *constructability* apresenta seu conceito dentro de limites muito mais amplos quando comparado a *buildability*. *Buildability*, sendo focado no quão influente o projeto pode ser expressivo na facilitação da construção, enquanto *constructability* aponta uma consideração de todos os processos durante a construção de um edifício, incluindo o planejamento, a contratação e o trabalho no canteiro (RODRIGUES, 2005).

Apesar de suas diferenças, tanto *buildability* quanto *constructability* são tratadas como sendo duas vertentes de um mesmo conceito pela literatura (WONG, 2007 apud DELEGREGO, 2017).

## 2.2 PRINCÍPIOS DA CONSTRUTIBILIDADE

De acordo com O'Connor et al. (1987), quanto mais cedo forem implantados os princípios de construtibilidade em um empreendimento, melhores serão seus resultados.

Diversos autores elaboraram princípios de construtibilidade, sendo tratados como diretrizes que podem ser abordadas durante a elaboração de um projeto de modo que se tenha uma melhor abordagem acerca dos problemas relacionados à construtibilidade de um empreendimento.

Sete Princípios foram apontados pela CIRIA (1983 apud AMANCIO, 2010) durante um estudo sobre a indústria da construção a respeito de construtibilidade, os quais são apresentados a seguir:

- Maximizar a obtenção de informações sobre o empreendimento e projetos;
- Levantamento de requisitos essenciais e elaboração de um plano para produção em canteiro;
- Planejar uma sequência prática das operações de construção e início das instalações;
- Planejar uma sequência comercial lógica e de simples montagem;
- Prever ao máximo o número de padronização e repetições;
- Prever as tolerâncias aceitáveis;
- Especificar a utilização de materiais resistentes e adequados.

Em parceria com a CII dos Estados Unidos, a CII Austrália desenvolveu, entre 1991 e 1993, o *Constructability Principles File*. Juntando estudos feitos por mais de 20 anos e desenvolvidos no Reino Unido, Estados Unidos e Austrália, foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa, uma série de princípios para a indústria da construção na Austrália. O arquivo consiste em 12 princípios para melhoria da construtibilidade que objetivam incentivar a equipe do projeto a aplicá-los, quando possível (GRIFFITH; SIDWELL, 1997). Os princípios descritos pela CIIA são apresentados da seguinte maneira:

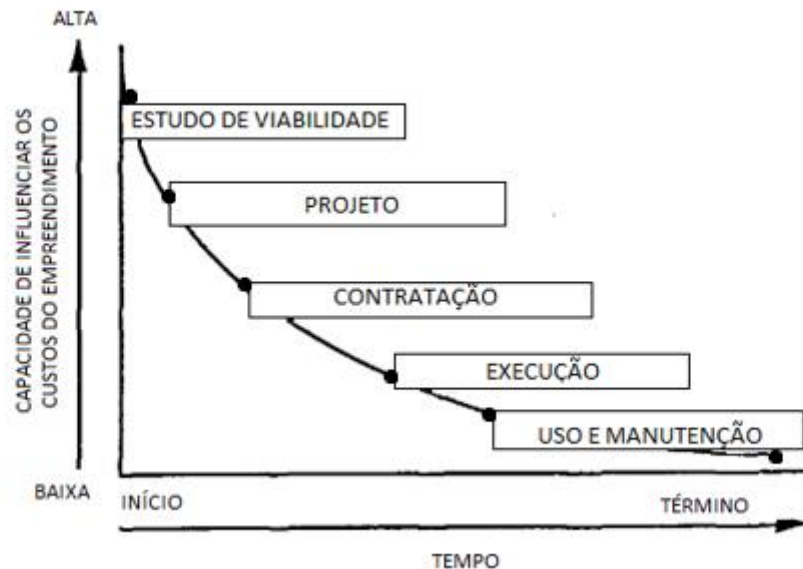
- Integração – Construtibilidade deve ser considerada parte integral no plano do empreendimento;
- Conhecimento em construção – O planejamento de projeto deve incluir conhecimento de construção e experiência;

- Habilidades da equipe – A experiência, habilidade e composição da equipe do empreendimento deve ser apropriada ao mesmo;
- Objetivos corporativos – Um aumento na construtibilidade é observado quando a equipe tem o conhecimento dos objetivos do cliente e do empreendimento;
- Recursos disponíveis – A tecnologia de solução do projeto deve ser compatível com as habilidades e recursos disponíveis;
- Fatores externos – Fatores externos podem afetar o custo e/ou cronograma do projeto;
- Programa – O programa em geral do empreendimento deve ser realista e adequado à construção, além de possuir comprometimento por parte da equipe do projeto;
- Metodologia de construção – O projeto do empreendimento deve considerar a metodologia de construção;
- Acessibilidade – Haverá um aumento na construtibilidade se a acessibilidade da construção for considerada não só no projeto como também nas etapas de construção do empreendimento;
- Especificações – A construtibilidade do empreendimento apresenta um aumento quando a eficiência da construção é considerada no desenvolvimento de especificações;
- Inovação da construção – Através da implantação de técnicas construtivas inovativas durante a construção, tem-se um aumento da construtibilidade;
- *Feedback* – A construtibilidade pode aumentar em empreendimentos futuros quando é feita uma análise pós-construção pela equipe do empreendimento.

A CII, através da junção de 3 outros estudos, desenvolveu o *Constructability Concepts File* em 1987, onde quatorze princípios foram elaborados, sendo seis deles direcionados à fase de concepção de projeto, sete considerando a fase de projeto, engenharia e aquisições, e um princípio relacionado a fase de construção. A principal ideia desses princípios apresentados pela CII era baseada no Princípio de Pareto, onde quanto mais cedo fossem tomadas as

decisões, se tratando do ciclo de vida do empreendimento, maior a chance de essas decisões influenciarem o resultado do mesmo, assim como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento de edifício ao longo de suas fases



Fonte: Adaptado pelo autor (CII, 1987 apud Melhado, 1994)

Os quatorze princípios iniciais foram acrescidos de três posteriormente, sendo eles:

1. Utilização de programas de construtibilidade como elementos de gestão do projeto.
2. Aplicação dos conhecimentos da construção durante o desenvolvimento do projeto.
3. Envolvimento dos conhecimentos de construção na definição de estratégias contratuais.
4. Definição dos tempos de execução do projeto para atender aos tempos de condução dos processos construtivos.
5. Análise das melhores opções para processos construtivos nas primeiras fases do projeto.
6. Adequação do canteiro de obra para que se promova a eficiência dos processos construtivos para execução e manutenção da obra.
7. Identificação da equipe responsável pela construtibilidade durante as primeiras fases do empreendimento.



8. Uso de tecnologias mais modernas e adequadas.
9. Planejamento dos prazos de modo que atenda à previsão de duração dos processos construtivos.
10. Valorização da eficiência construtiva pelo projeto de concepção da obra.
11. Seguir indicações padronizadas na definição dos elementos.
12. Elaboração de especificações de projeto considerando a eficiência construtiva.
13. Optar por um desenho modular e pré-fabricação de modo que se traduza em fácil fabricação, transporte e instalação.
14. O projeto deve apresentar facilidade de acessibilidade dos operários, transporte e movimentação de materiais e equipamentos durante a construção.
15. Consideração de situações adversas da atmosfera para prever condições de facilitação da construção.
16. A fim de garantir o tempo necessário para testes e ensaios, o trabalho deve facilitar a operacionalidade dos sistemas de infraestrutura na concepção e na construção.
17. Priorização de métodos tecnologicamente inovadores, mais eficientes e adequados desde a fase de concepção do projeto.

Além da CII, Tatum (1987 apud MELHADO, 1994) lista alguns princípios para consideração na etapa de projeto, pressupondo que a integração entre projeto e execução gera benefícios e auxilia a alcançar os objetivos gerais do empreendimento, podendo-se destacar:

- Visar as verdadeiras necessidades da etapa de execução pelo cronograma de projeto;
- Consideração dos principais métodos construtivos possíveis que podem ser utilizados, optando por aqueles que possam gerar um benefício na execução, desde o início do projeto;
- Normalização dos elementos de projeto, ou seja, padronização das informações;
- Especificação de elementos pré-moldados, modulares ou pré-montados sempre que possível, a fim de reduzir custos e prazos;
- Considerar na elaboração do projeto, a acessibilidade da equipe, de materiais e equipamentos;
- O projeto deve favorecer a execução mesmo em condições adversas do clima;

- Não devem ser aceitas especificações do projeto que envolvam materiais, métodos construtivos ou controles de execução complexos e desnecessários, que possam reduzir a eficiência da execução.

Griffith (1987 apud MELHADO, 1994) também lista alguns princípios direcionados mais ao conceito de *buildability*, alegando que a formulação do projeto utilizando-se desses princípios proporciona um influente resultado quanto à construtibilidade, podendo gerar não apenas uma racionalização e simplificação por via do projeto, mas também uma maior facilidade nas operações de construção, os princípios listados pelo autor são:

- Utilização de detalhes simples e inteligentes, adequando o nível de complexidade técnica do detalhamento do projeto;
- Consideração da interdependência dos elementos construtivos, adotando uma execução mais simplificada com menos interfaces entre serviços;
- Adoção de uma sequência operacional menos complexa, reduzindo o número de itens para controle;
- Maior possibilidade de substituições e adaptações do projeto e dos componentes, por questões comerciais;
- Aumento da precisão de operações iniciais de construção, gerando um início mais rápido e menor risco de futuras correções.

Portanto, pode-se observar que diversos autores elaboraram segundo seus estudos, diretrizes a serem consideradas para a aplicação em empreendimentos que podem contribuir com a construtibilidade do mesmo, sejam essas diretrizes aplicadas à fase de projeto, ou ao contexto geral da obra.

É muito comum de se esperar de um projeto de construção, que ele se conclua no prazo, apresente uma boa produtividade, se mantenha dentro do orçamento e seja finalizado com alta qualidade, todos esses aspectos são esperados pelos cliente pois todos objetivam receber um retorno de alta qualidade pelo capital investido. Além dos aspectos citados, após concluído, os clientes esperam que o investimento apresente eficiência, sendo livre de problemas e com baixo custo de manutenção. É por esses motivos que os princípios de construtibilidade apresentam um papel significativo no mercado (GRIFFITH; SIDWELL, 1997).

## 2.3 BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE

Diversos estudos na bibliografia reconhecem os benefícios gerados pela melhoria da construtibilidade para a execução de um empreendimento. Tais estudos apontam que a aplicação de diretrizes que visam o aumento da construtibilidade, proporciona de uma maneira geral, melhores economias de tempo e custo, além de estimular a interação entre as equipes, resultando em um intercâmbio de experiências e conhecimentos. Ao se considerar em todas as etapas de construção de um empreendimento, os princípios de construtibilidade, o processo de construção global torna-se mais rápido e eficaz (GRIFFITH; SIDWELL, 1997).

Tatum (1987 apud SILVA; GUIMARÃES, 2006) aponta alguns aspectos que a aplicação efetiva da construtibilidade pode ocasionar ao processo de construção de um edifício:

- Redução das tarefas na construção;
- Redução das dificuldades durante a construção;
- Reconhecimento das limitações e práticas locais;
- Aprimoramento dos métodos construtivos e da tecnologia;
- Importância à melhoria de coordenação entre os projetistas e construtores;
- Consenso do mesmo ponto de vista por todos os membros da equipe.

Tatum (1987 apud ZOLFAGHARIAN, 2016) explorou os efeitos de um melhoramento da construtibilidade durante a fase do projeto e apresentou alguns benefícios. Através do desenvolvimento do planejamento do empreendimento desde as suas fases iniciais, é possível aos projetistas obter um melhor entendimento das sequências e do cronograma do empreendimento, além das tarefas de aquisição do mesmo. Outro ponto apontado, foi o de planejamento prévio do canteiro, ainda durante a fase de projeto, permitindo um melhoramento no aproveitamento do mesmo, considerando o acesso de pessoas e materiais, e operações de construção mais eficientes. Além disso, pela seleção de métodos de construção durante essa fase, pode-se estimar de uma maneira mais eficiente o custo de construção, o qual inclui custo de equipamentos, mão-de-obra e materiais.

*O Construction Industry Institute (CII)* considera que os resultados mais positivos ao se adotar construtibilidade como diretriz, são observados quando profissionais com experiência e conhecimento em construção se envolvem com o empreendimento desde o início. Ainda em seu guia de melhores práticas para se aumentar o desempenho do projeto, o CII apresenta alguns benefícios que podem ser observados através da implementação de um programa de construtibilidade no empreendimento, como:

- Redução de 4,3% no custo total do projeto, em média;
- Redução no cronograma de projeto em média de 7.5%;
- Melhoramento da segurança e do impacto ambiental;
- Aumento da qualidade do empreendimento;
- Melhora da relação entre a equipe;
- Redução de retrabalho e replanejamento no projeto;
- Melhora no progresso do trabalho.

O máximo benefício da construtibilidade pode ser alcançada quando o “programa” for colocado em prática desde as primeiras fases do empreendimento. É necessário que se incluam profissionais experientes na construção, além de se tomar providências para um melhor planejamento, concepção, início de construção, e tendo em vista os objetivos do empreendimento como um todo, não apenas em partes (ASCE, 1991; FRANCO, 1992).

Os benefícios trazidos pela construtibilidade já são claros e bem reconhecidos, e podem se estender durante todo o processo de construção de um empreendimento, dentre os benefícios citados por diversos autores, podemos destacar:

- Um melhor planejamento na fase de concepção do projeto;
- Melhoramento de projeto;
- Métodos de construção melhorados;
- Melhor gerenciamento de canteiro;
- Maior eficácia no trabalho em equipe e maior satisfação por parte dos trabalhadores;
- Aumento no desempenho do empreendimento;
- Maior reconhecimento dos participantes.

## **2.4 DIFICULDADES DA IMPLANTAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE**

O reconhecimento das barreiras da construtibilidade é conhecido por ser um parâmetro crítico para uma implementação efetiva de construtibilidade (O’CONNOR; MILLER, 1994).

Não seria correto afirmar que a construtibilidade pode resolver todas as questões, problemas e dificuldades que estão presentes em toda e qualquer obra de construção. Cada projeto é diferente um do outro com diversos fatores complexos e interativos a serem considerados em sua formulação. A ideia da construtibilidade poderia aqui ser considerada,

como sendo o ideal a convidar o cliente e a equipe de construção a considerar cada vez mais, os princípios que podem proporcionar uma maior facilidade no gerenciamento do empreendimento.

A segregação da equipe de uma obra e a natureza fragmentada das construções que se observa nos ambientes tradicionais são dificuldades significativas para uma boa implementação e desenvolvimento da construtibilidade. Além disso, ainda há uma certa resistência à adoção de inovações no projeto, tecnologia e gestão, muitas vezes causado por: baixo nível de conscientização, falta de incentivos, e até mesmo a postura competitiva adotada pelos profissionais da construção, fazendo com que essas barreiras sejam complexas e não tão fáceis de se superar. Para que se tenha uma evolução da construtibilidade, é necessário o interesse por parte dos clientes em quebrar tais barreiras e o encorajamento da equipe de trabalho, de modo que se tenha uma ideia clara da busca por uma melhor abordagem de projeto, melhores técnicas construtivas, e um melhor uso do produto após acabado, fazendo da construtibilidade um ideal criativo presente em todo o processo de construção (GRIFFITH; SIDWELL, 1997).

O'Connor e Miller (1994) apresentam uma lista de possíveis barreiras para a construtibilidade baseada em pesquisas e conhecimentos de pesquisadores, e que posteriormente foi submetida ao CII para uma revisão. A lista final foi apresentada em categorias e mostra as barreiras consideradas significativas como empecilhos para a implementação da construtibilidade e que podem afetar qualquer parte envolvida no processo do empreendimento, algumas delas são listadas a seguir:

#### Barreiras por parte do Proprietário:

- Falta de conhecimento dos benefícios e conceitos
- Ideia de que não há benefícios comprovados
- Ideia de que construtibilidade atrasa o cronograma do empreendimento
- Falta de compromisso
- Etapas de projeto e construção consideradas separadas
- Falta de experiência em construção
- Não consideração da construtibilidade para contratação de equipe
- Falta de incentivo financeiro ao projetista

#### Barreiras por parte do Projetista

- Falta de conhecimento dos benefícios e conceitos

- Baixa experiência em construção
- Objetivos da empresa a frente dos objetivos do projeto
- Falta de conhecimento das tecnologias de construção
- Falta de respeito entre projetistas e construtores

#### Barreiras por parte dos Construtores

- Aversão por parte da equipe de construção em oferecer conselhos desde as etapas anteriores
- Baixa habilidade em comunicação
- Falta de envolvimento com ferramentas e desenvolvimento de equipamentos

#### Barreiras por parte da Organização

- Limitações pré-montagem
- Outras restrições de trabalho

Jergeas e Put (2001) em seu estudo, mostram que as principais barreiras encontradas entre os potenciais benefícios que poderiam ser observados pela construtibilidade e aqueles realmente aplicados em prática estão presentes em três áreas distintas, sendo elas o envolvimento inicial da equipe de construção, o alcance da eficiência por meio de esforços na construção e no uso de métodos construtivos inovadores e tecnologia avançada.

As principais barreiras encontradas no envolvimento inicial da equipe de construção incluem a falta de confiança, respeito e credibilidade entre a equipe do empreendimento; práticas tradicionais onde a equipe construção apenas entra efetivamente no empreendimento após concluída a etapa de projeto e as especificações já bem desenvolvidas, além da falta de comprometimento e de desejo por parte dos proprietários em se implementar programas de construtibilidade, que muitas vezes está relacionado à falta de conhecimentos dos benefícios que poderiam ser obtidos.

Além de ser considerada importante a implementação da construtibilidade durante a fase inicial de projeto, a não incorporação da etapa de construção nessa fase pode vir a ser uma barreira ao tema, uma vez que tal incorporação possibilitaria um melhor entendimento dos requisitos para uma abordagem construtiva menos custosa e a diminuição na disputa entre construtores e projetistas (MENDELSON, 1997 apud ZOLFAGHARIAN, 2016). Além disso, a falta dessa incorporação afeta a construtibilidade no planejamento do projeto, no canteiro de

obras, e nos métodos construtivos, uma vez que o uso otimizado de um canteiro, incluindo o espaço para equipe e materiais, assim como a opção pelo método construtivo mais eficiente e aquisição dos materiais a fim de se respeitar o orçamento do projeto, derivam da consideração da construtibilidade durante as fases iniciais de projeto (TATUM, 1987).

É perceptível que benefícios como melhoria de custos, redução no cronograma, e maior segurança no trabalho são desperdiçados em projetos de construção por barreiras aparentemente difíceis de serem quebradas entre planejadores, projetistas e construtores. Muitas vezes não é do conhecimento do projetista ou a falta de experiência não permite a percepção do quanto suas decisões podem afetar a fase de construção de um empreendimento, assim como construtores não se sentem confortáveis em escritórios e algumas vezes relutam contra a ideia de contribuir com seus conhecimentos durante a fase de projeto (JERGEAS; PUT, 2001).

Já as barreiras envolvendo a eficiência na etapa de construção estão relacionadas principalmente ao congestionamento de algumas partes do canteiro, principalmente as partes contendo instalações em operação; especificações rígidas que causam uma falta de variedade de opções de projeto pelo fato de os projetistas não apresentarem em muitas opções e experiência em campo necessária; falta de comunicação entre projetistas e construtores, que frequentemente não parecem trabalhar em harmonia (JERGEAS; PUT, 2001).

Quando se trata de métodos construtivos inovadores e tecnologia avançada, os principais fatores apontados para justificar as barreiras dessa área foram o medo por mudança por parte dos proprietários pelo fato de ser algo não antes aplicado por eles; falta de conhecimento sobre as técnicas construtivas mais inovadoras e a ideia de que não se precisa inovar quando o que já vem sendo feito está dando certo; o alto custo de tecnologias inovadoras e o alto investimento de tempo e custo para de treinar profissionais para o uso dessas tecnologias, que muitas vezes são complexas (JERGEAS; PUT, 2001).

## **2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE**

Existem alguns métodos para avaliação da construtibilidade de empreendimentos na literatura, onde cada um apresenta sua característica e foco, sendo quase todos, com exceção do BDAS, desenvolvidos através de entrevistas e questionários aplicados a profissionais e experientes da área da construção. Os métodos apresentados nesse trabalho serão o BDAS e o BAM por serem os de maior destaque na literatura (ZOLFAGHARIAN, 2016). Apesar de não terem sido avaliadas pontuações nesse trabalho, essas serão apresentadas junto à descrição dos

métodos por serem parte fundamental dos mesmos, e também por funcionarem como exemplo de listagem de opções (catálogo).

Do ano 2000 em diante, o foco em pesquisas sobre construtibilidade foi passado à Ásia. Por meio de incentivos, e depois com a legislação relacionada ao BDAS, Singapura se consolidou como primeiro e único em que os benefícios do estudo sobre construtibilidade foram colhidos, fazendo parte das considerações de projeto em escala nacional até hoje. Um ponto importante a ser observado é que a simplicidade dos métodos BDAS o tornou mais aceitável para uso, pois para tanto, não é necessário alterar os modelos contratuais ou o funcionamento interno das empresas (DELEGREGO, 2017).

## 2.6 *Buildability Design Appraisal System* (BDAS)

A fim de se elevar a produtividade no meio da construção, desde 2001 a *Building and Construction Authority* (BCA) tem aplicado uma legislação de construtibilidade para os projetos de construção. Como efeitos da aplicação dessa legislação, alguns parâmetros de projeto começaram a tomar outro rumo, como o uso de pré-moldados, *dry walls*, e elementos com tamanhos mais padronizados e repetidos.

Com a finalidade de se obter uma melhoria de produtividade na construção, de forma que os conceitos de produtividade passassem a ser adotados já durante a fase de concepção do projeto por arquitetos e engenheiros, e para que pudesse ser observado posteriormente tal efeito com economia de trabalho durante a fase de execução por construtores, em 2011, a BCA implementou requisitos de construtibilidade onde os construtores adotariam métodos e medidas mais eficientes em termos de mão-de-obra (BCA, 2017). Portanto, um projeto com uma maior pontuação de construtibilidade apresentará uma maior produtividade da mão-de-obra.

O objetivo do BDAS é de difundir a ideia do uso de projetos mais construtivos, porém não é a intenção de se adotar esses métodos de modo que se desvalorize o projeto arquitetônico, pois ainda se tem a necessidade de atender as expectativas dos clientes. Existe sim a possibilidade de se obter um projeto atraente e com um elevado índice de construtibilidade. (BCA, 2017).

Ainda também não é a intenção do BDAS de apenas promover o uso de pré-fabricados ou de tecnologias modulares, apesar de apresentarem, de fato, uma maior pontuação de construtibilidade, as técnicas de construção simples usadas no local também garantem uma razoável pontuação, garantindo a ideia principal que é de se obter melhorias na qualidade da



obra pelo simples fato de se aumentar a facilidade sem demandar um mercado extremamente qualificado para tal.

A construtibilidade de projeto de baseia no princípio dos 3S – Padronização (*Standardisation*), Simplicidade (*Simplicity*) e Integração de elementos isolados (*Single integrated elements*), onde:

- Padronização – refere-se à repetição de elementos que podem facilitar a construção
- Simplicidade – refere-se a sistemas construtivos descomplicados, como pré-moldados
- Integração de elementos isolados – são aqueles que combinam diferentes elementos relacionados em um único, podendo ser pré-fabricados e posteriormente instalados no local, como os banheiros pré-fabricados.

O BDAS foi desenvolvido com a ajuda de um comitê, onde empreiteiras locais e estrangeiras, forneceram dados de produtividade de seus projetos, e aliados a isso, dados de agências do governo, consultores e fabricantes também foram consultados. Além disso, o BDAS faz parte da aprovação de projetos em Singapura, onde por lei, a maioria dos edifícios (exceto edifícios de cultos religiosos e estações de energia), devem atingir uma pontuação mínima baseado no sistema para serem aprovados. (LAM; WONG, 2008).

O *Code of Practice* do BDAS (BCA, 2017), é um manual de cálculo da construtibilidade obtido pelo método. Nesse manual estão especificadas definições, regulamentos para aprovação de projetos, instruções e coeficientes de cálculo.

É válido ressaltar, antes da apresentação do método de avaliação da construtibilidade, que o conceito de construtibilidade adotado pelo BDAS foi aquele definido pela CIRIA como sendo “a magnitude na qual o projeto de um edifício favorece a facilidade de construção”, entendendo-se então, que a pontuação final apresentada pelo método pode ser entendida como um indicador da facilidade da construção (DELEGREGO, 2017).

Para a determinação da pontuação, as edificações são divididas em grupos onde a pontuação mínima depende de cada uma.

- Residencial privado
- Residencial multifamiliar
- Comercial
- Industrial

- Escolas
- Instituição e outros

A pontuação é concedida pela soma de três partes diferentes, sendo elas:

Parte 1 – tendo como máximo de 45 pontos, sendo considerados sistemas estruturais

Parte 2 – tendo como máximo de 45, sendo considerados sistemas de paredes

Parte 3 – tendo como máximo de 20, sendo consideradas tecnologias que facilitem a produção e montagem, como por exemplo o uso de banheiros pré-fabricados.

Alguns outros aspectos também são considerados nas partes 1 e 2, como a padronização de elementos e repetição, além do uso de tecnologias produtivas como concreto auto adensável, construção enxuta e revestimento de madeira projetado, etc...

Somando-se as três partes, a pontuação limite que uma edificação pode atingir é de 110 pontos.

Um outro aspecto a ser considerado quando está sendo calculada a pontuação mínima de construtibilidade de uma obra, é a sua área bruta, do inglês (*gross floor area*), onde cada categoria de edificação acima listada, apresenta uma faixa de área em que é caracterizada uma pontuação.

As classificações quanto a área bruta, são divididas em:

- Entre 2000 m<sup>2</sup> e 5000 m<sup>2</sup>
- Entre 5000 m<sup>2</sup> e 25000 m<sup>2</sup>
- Acima de 25000 m<sup>2</sup>

A pontuação a ser considerada levando em consideração ambos tipos de edificação e área bruta é disposta conforme o Quadro 1

Quadro 1 - Pontuação mínima de construtibilidade de projeto para Superestruturas de Novas Obras de Construção

CATEGORIA DE OBRA / DESENVOLVIMENTO	PONTUAÇÃO MÍNIMA DE CONSTRUTIBILIDADE PARA SUPERESTRUTURA		
	2.000 m <sup>2</sup> ≤ Área Bruta < 5.000 m <sup>2</sup>	5.000 m <sup>2</sup> ≤ Área Bruta < 25.000 m <sup>2</sup>	Área Bruta ≥ 25.000 m <sup>2</sup>
Residencial Privado	73	78	81
Residencial Multifamiliar	80	85	88
Comercial	82	87	90
Industrial	82	87	90
Escolas	77	82	85
Instituições e outros	73	79	82

Fonte: adaptado pelo autor (BCA, 2017)

Em sua mais recente versão, o BDAS ainda separa pontuações em superestruturas e porão, portanto, todas as categorias que apresentem um subsolo, deverão apresentar a pontuação mínima de 68 pontos, como representado no Quadro 2

Quadro 2– Pontuação mínima de construtibilidade de projeto para Porão de Novas Obras de Construção

CATEGORIA DE OBRA / DESENVOLVIMENTO	PONTUAÇÃO MÍNIMA DE CONSTRUTIBILIDADE PARA PORÃO
	Área Bruta ≥ 2.000 m <sup>2</sup>
Residencial Privado	68
Residencial Multifamiliar	
Comercial	
Industrial	
Escolas	
Instituições e outros	

Fonte: adaptado pelo autor (BCA, 2017)

Como fator importante no sistema de pontuação tem-se o Índice de Economia de Trabalho, do inglês *Labour Saving Index* (LSI), o qual é quantificado em cada sistema de construção.

O Índice de Economia de Trabalho, foi obtido por meio de considerações feitas em diversos projetos, onde cada tipo de sistema de construção foi estudado. Em cada tipo diferente de sistema, foi analisada a produtividade do local, medida em metros quadrados por homem por dia ( $m^2/h/dia$ ). Baseado nas diferenças de produtividades observadas entre os sistemas, uma tabela de economia de trabalho foi criada para cada sistema de construção, onde em alguns casos, para se desencorajar o uso de técnicas que exijam mão-de-obra intensiva, seus índices foram ainda diminuídos. Portanto, um alto índice indica que o projeto necessitará de menos mão-de-obra e será mais “construtível” (BCA, 2017).

A seguir são apresentadas as pontuações a serem consideradas em cada sistema para se obter a pontuação final de construtibilidade de um projeto.

### 2.6.1 Sistema Estrutural (45 pontos)

A Pontuação de Construtibilidade de Projeto para um sistema estrutural é definido pelo produto entre o seu Índice de Economia de Trabalho, os quais estão representados no Quadro 3 e a área percentual coberta por aquele sistema específico, onde pode ser considerado mais de um sistema pelo projetista a fim de se obter o melhor projeto. A fórmula para o cálculo da pontuação é representada pela Equação 1

$$\{45[\Sigma(A_s \times S_s)] + SBFP\} \quad (1)$$

Sendo:

- $A_s$  = percentual de área construída utilizando determinado sistema estrutural.
- $S_s$  = índice de economia de trabalho segundo o sistema estrutural, variando de zero a um.

- SBF - *Structural Buildable Feature Points* = feições estruturais pontuadas, como padronizações de elementos, repetitividade vertical, parede diafragma e outros. O limite de pontos para esse aspecto é de 5 pontos.

Quadro 3– Sistema Estrutural – Valor de Ss

SISTEMA ESTRUTURAL	DESCRIÇÃO	ÍNDICE DE ECONOMIA DE TRABALHO Ss
Sistema de Concreto Pré-Fabricado	Pré-moldado completo	1.00
	Coluna / parede <sup>(2)</sup> pré-fabricada com placa plana e vigas perimetrais (espessura da viga $\leq$ 60 cm)	0.90
	Coluna / parede <sup>(2)</sup> pré-fabricada com placa plana e vigas perimetrais (espessura da viga $>$ 60 cm)	0.80
	Coluna / parede <sup>(2)</sup> pré-fabricada com laje plana e vigas perimetrais (espessura da viga $\leq$ 60 cm)	0.85
	Coluna / parede <sup>(2)</sup> pré-fabricada com laje plana e vigas perimetrais (espessura da viga $>$ 60 cm)	0.75
	Viga pré-fabricada e laje pré-fabricada	0.90
	Viga pré-fabricada e coluna/parede pré-fabricada	0.90
	Coluna/parede <sup>(2)</sup> pré-fabricada e laje pré-fabricada	0.90
	Laje pré-fabricada apenas	0.70
	Coluna/parede pré-fabricada apenas	0.70
Sistema de Aço Estrutural (aplicável apenas se adotado deck de aço ou laje pré-moldada) <sup>(3)</sup>	Viga de aço e coluna de aço (sem revestimento de concreto)	1.00
	Viga de aço e coluna de aço (com revestimento de concreto)	0.95
Sistema de moldados in loco	Placa plana com vigas perimetrais (espessura de viga $\leq$ 60 cm)	0.85
	Placa plana com vigas perimetrais (espessura de viga $>$ 60 cm)	0.75
	Laje plana com vigas perimetrais (espessura de viga $\leq$ 60 cm)	0.80
	Laje plana com vigas perimetrais (espessura de viga $>$ 60 cm)	0.70
	Viga unidirecional	0.70
	Viga bidirecional	0.45
Sistema de Telhado	Telhado de metal integrado em treliça de aço	1.00
	Telhado de metal em treliça de aço ou madeira	0.95
	Telha em vigas de aço ou vigas de concreto pré-moldado ou vigas de madeira	0.75
	Telhado de metal em viga moldada in loco	0.60
	Telha em viga moldada in loco	0.55

Fonte: adaptado pelo autor (BCA, 2017)

Notas:

- (1) Pelo menos 80% do reforço de aço para lajes mistas deve ser de malha soldada.
- (2) Parede pré-fabricada refere-se apenas às paredes de suporte.
- Um índice de 0,05 cada seria aplicado se o reforço/gaiola/estribo contínuo pré-fabricados fossem usados em laje, parede, viga e coluna moldada in loco.
- Índices para outros sistemas não mostrados nesta tabela serão determinados pelo BCA caso a caso. Para tais casos, aconselha-se procurar pelo BCA antes de prosseguir com os projetos

### 2.6.2 Sistema de Paredes (45 pontos)

Assim como a pontuação do sistema de estruturas, a Pontuação de Construtibilidade de Projeto para um sistema de paredes é definido pelo produto entre a porcentagem do comprimento de paredes coberto pelo respectivo sistema e o seu Índice de Economia de Trabalho, segundo o Quadro 4. Quando usado mais de um sistema de parede, estes serão somados e multiplicados pelo fator peso para então gerar a pontuação final do sistema. O cálculo da pontuação para esse sistema é representado pela Equação 2

$$\{40[\Sigma(L_w \times S_w)] + C + ABFP\} \quad (2)$$

Onde:

- $L_w$  = percentual da área de paredes (internas e externas) construída com determinada tipologia de paredes.
- $S_w$  = índice de economia de mão-de-obra segundo o sistema de paredes, variando de zero a um.
- $C$  = pontos para designs simples, sem vazios ou formas complexas. Dependendo da simplicidade do projeto, até 5 pontos podem ser adquiridos para esse termo.
- $ABFP$  - *Architectural Buildable Feature Points* = feições arquitetônicas pontuadas, como uso de drywall ou pisos em madeiras modificadas. A pontuação máxima dada é de 5 pontos.

Quadro 4– Sistema de Paredes – Valor de Sw

SISTEMA DE PAREDES	DESCRIÇÃO	ÍNDICE DE ECONOMIA DE TRABALHO Sw
Drywall (Elemento Obrigatório)	Divisória drywall para todas as áreas internas secas (exceto parede de festa / parede do banheiro / parede da cozinha)( <i>aplicável apenas para residencial privado</i> )	1.00
Parede cortina / divisória de vidro / divisória drywall / corrimão pré-fabricado	Parede cortina / Divisória de vidro	1.00
	Corrimão pré-fabricado	1.00
	Divisória drywall	1.00
	Divisória drywall com acamento em pedra / telha	0.90
Parede de concreto pré-moldado <sup>(2)</sup>	Paredes e colunas <sup>(4)</sup> externas em concreto pré-moldado desformado	1.00
	Parede de concreto pré-moldado com revestimento	0.90 <sup>(1)</sup>
	Parede de concreto pré-moldado com reboco, acabamento em azulejo / pedra	0.60
Painel leve de concreto <sup>(3)</sup>	Painel leve de concreto com revestimento	0.85 <sup>(1)</sup>
	Painel leve de concreto com reboco, acabamento em azulejo / pedra	0.55
Parede em concreto armado moldado in loco	Paredes e colunas <sup>(4)</sup> externas em C.A moldado in loco desformado	0.95
	Parede em C.A moldado in loco com revestimento	0.80 <sup>(1)</sup>
	Parede em C.A moldado in loco com reboco, acabamento em azulejo / pedra	0.50
Parede em blocos de concreto	Parede em blocos de concreto com revestimento	0.30 <sup>(1)</sup>
	Parede em blocos de concreto com reboco, acabamento em azulejo / pedra	0.10
Parede em tijolos / blocos de concreto	Parede em tijolos / blocos de concreto com ou sem reboco ( <i>incluir comprimento se usado</i> )	Consultar seção separada de pontos bônus <sup>(5)</sup>

Fonte: adaptado pelo autor (BCA, 2017)

Notas:

- (1) Estes índices também se aplicam às respectivas paredes sem acabamentos ou acabamentos feitos fora do local.
- (2) Muros de concreto pré-moldado referem-se a paredes pré-fabricadas que geralmente não são proprietárias e são fabricadas para serem customizadas para um projeto específico
- (3) Os painéis de concreto leve incluem painéis de concreto leve auto clavado (ALC), painéis de concreto aerado auto clavado (AAC).
- (4) As paredes e colunas externas de concreto pré-moldado, moldadas fora do local e não moldadas, não requerem tratamento de superfície adicional que exija trabalho intensivo.

- (5) O uso de paredes de tijolo/blocos de concreto, uma vez utilizado, deve ser indicado e seu comprimento de parede calculado sob o sistema de parede. Os pontos de demérito para o uso dessas paredes serão computados em uma seção separada sobre Pontos de Demérito.
- Os índices para outros sistemas não apresentados neste quadro serão determinados pelo BCA caso a caso

### **2.6.3 Sistema de Tecnologias de Produção e Montagem (20 pontos)**

A Pontuação de Construtibilidade de Projeto para tecnologias de produção e montagem pode ser atribuída à diversas disciplinas de um projeto, como arquitetônico, mecânico, elétrico e hidrossanitário. Dentre os diversos tipos diferentes de tecnologias para padronização e modulação, a pontuação será adquirida diretamente pela economia na mão-de-obra gerada por cada uma. Os valores atribuídos a cada tecnologia estão representados no Quadro 5



Quadro 5 - Projeto para tecnologias de Fabricação e Montagem – Valor de N (continua)

PROJETO DE TECNOLOGIAS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM		UNIDADE DE COBERTURA	VALOR DE N		
			PORCENTAGEM DE COBERTURA <sup>(1)</sup>		
			≥ 65% e < 80%	≥ 80%	
<b>A1. Primeira Classe</b>					
<b>Sistema totalmente integrado</b>					
A1.1	Construção Volumétrica pré-fabricada e pré-finalizada (PPVC) <sup>(2)</sup> (O sistema PPVC deve ser aceito pelo Building Innovation Panel (BIP) e autorizado pelo PPVC Manufacturer Accreditation Scheme)	área	8.00	10.00	
A1.2	Construção Volumétrica pré-fabricada e pré-finalizada (PPVC) atendendo aos pré-requisitos estipulados nas seções 5.1 e 5.2	área	6.00	7.00	
<b>A2. Segunda Classe (Acima)</b>					
<b>Submontagens totalmente integradas</b>					
A2.1	Uso de madeira projetada em massa (exemplo. Madeira Laminada Cruzada)	área <sup>(2)</sup>	6.00	7.00	
A2.2	Construção Volumétrica pré-fabricada (PVC)	área	5.00	6.00	
A2.3	Aço estrutural com conexões inovativas <sup>(4)</sup>	área	5.00	6.00	
A2.4	Sistema mecânico em aço, elétrico e encanamento (MEP) para pisos	área	5.00	6.00	
A2.5	Parede pré-finalizada com sistema elétrico, mecânico e encanamento	comprimento	1.00	2.00	
A2.6	Forro pré-finalizado com sistema elétrico, mecânico e encanamento	área	1.00	2.00	
A2.7	Sistemas mecânico, elétrico e encanamento pré-fabricados modulares e integrados com plataforma de trabalho / passarela	-	3.00	5.00	
A2.8(a)	Unidades de banheiro pré-fabricados e pré-montados completos com acabamentos, louças sanitárias, canalizações, tubulação não-aparente, forro, box e acessórios antes da instalação na posição  (Obrigatório para projetos residenciais multifamiliares e para a parte de residenciais multifamiliares em ambientes de uso misto sob o Government Land Sales Programme. O sistema de banheiros pré-fabricados (PBU) deve ser aceito pelo Building Innovation Panel (BIP) e aprovado pelo PBU Manufacturer Accreditation Scheme)	Repetição de Layouts			
		≥ 40%	-	4.00	5.00
		< 40%	-	3.00	4.00
A2.8(b)	Unidades de banheiro pré-fabricados pré-montados fora do local, completos com acabamentos e tubulação / fiação	-	2.00	3.00	

Quadro 5 – Projeto para tecnologias de Fabricação e Montagem – Valor de N  
(conclusão)

PROJETO DE TECNOLOGIAS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM		UNIDADE DE COBERTURA	VALOR DE N	
			PORCENTAGEM DE	
			≥ 65% e < 80%	≥ 80%
<b>A3. Segunda Classe (Abaixo)</b>				
<b>Sistemas pré-fabricados avançados</b>				
A3.1	Aço estrutural	área	2.00	3.00
A3.2	Parede cortina unitizada	comprimento		2.00
A3.3	Parede pré-finalizadas (exemplo. Parede pré-moldada com acabamento fora do local)	comprimento		1.50
A3.4	Laje pré-finalizada	área		1.50
A3.5	Forro pré-finalizado	área		1.50
A3.6	Módulos MEP pré-fabricados (exemplo. Tubos, cabos, etc.)	-	2.00	4.00
A3.7	Módulos de MEP em planta pré-fabricados (exemplo. Bombas, compressores, etc.)	-	2.00	4.00
<b>A4. Terceira Classe</b>				
<b>Componentes pré-fabricados</b>				
A4.1	Componentes pré-fabricados integrados que contemplem ao menos 2	-		1.50
A4.2	Paredes externas pré-fabricadas com janelas moldadas	-		2.00
A4.3	Conexão mecânica para coluna/parede pré fabricados (juntas horizontais)	-		0.50
A4.4	Conexão mecânica para juntas de vigas pré-fabricadas	-		0.50
A4.5	Conexão mecânica para paredes pré-fabricadas (juntas verticais)	-		0.50
A4.6	Paredes/fachadas pré-fabricadas com acabamento a seco aplicado no	comprimento		1.00
A4.7	Laje pré-fabricada com acabamento a seco aplicado no local	área		1.00
A4.8	Forro pré-fabricado com acabamento a seco aplicado no local	área		1.00
A4.9	Duto pré-fabricado e pré-isolado para sistema de ar condicionado <sup>(5)</sup>	área <sup>(6)</sup>	0.5	1.00
A4.10	Sprinkler dropper flexível <sup>(5)</sup>	-		1.00
A4.11	Tubulações de água flexíveis <sup>(5)</sup>	-		1.00
A4.12	Suporte comum para sistema mecânico e elétrico (pelo menos 3 serviços) <sup>(5)</sup>	comprimento		1.00

Fonte: adaptado pelo autor (BCA, 2017)

Notas:

- (1) A porcentagem de cobertura deve ser baseada na área total, comprimento total ou número total de componentes,
- (2) Favor consultar a seção 5 para os requisitos mínimos e estrutura de aceitação para PPVC (A seção “5” original pode ser consultada no Anexo B deste trabalho),
- (3) A área refere-se à área total do piso, incluindo telhado. Considera-se que um edifício é construído com madeira projetada se tanto o piso (incluindo o telhado) quanto a parede forem construídos com madeira projetada.
- (4) Se referem a conexões que não exigem soldagem no local, permitem montagem mais rápida e fácil instalação no local de membros de aço.

- (5) No caso de atribuição de pontos para sistemas MEP, as pessoas qualificadas devem garantir a adoção dos sistemas MEP relevantes
- (6) A porcentagem de cobertura é baseada na área do material usado para o duto.
- Os pontos para outras tecnologias de fabricação e montagem não mostradas nesta tabela serão determinados pelo BCA caso a caso.

Para se obter a Pontuação de Construtibilidade de Projeto final, deve-se somar a pontuação do sistema estrutural, do sistema de paredes e do sistema de padronização e modularidade, sendo a fórmula expressa pela Equação 3:

$$\{45[\Sigma(As \times Ss)] + SBFP\} + \{40[\Sigma(Lw \times Sw)] + C + ABFP\} + N \quad (3)$$

onde:

- N = pontos para sistemas de tecnologias de fabricação e montagem.
- SBFP = *Structural Buildable Feature Points*
- ABFP = *Architectural Buildable Feature Points*

Como já citado anteriormente, somando-se os termos para obtenção da pontuação de construtibilidade final, a máxima pontuação obtida será de 110 pontos.

Para projetos em que se tem mais de um edifício, a Pontuação de Construtibilidade de Projeto é calculada contando-se normalmente a pontuação para um edifício, e em seguida multiplicando-se a pontuação pela porcentagem da área ocupada pelo mesmo. Por fim, soma-se a pontuação dos edifícios para se obter a final.

É importante salientar que a pontuação de um projeto não é o único fator determinante na produtividade. Ao se analisar um projeto com uma pontuação de construtibilidade “x”, ao ser realizado por uma empresa, o mesmo terá uma produtividade, todavia, se o mesmo projeto for realizado por uma empresa diferente, é notório que não se notará a mesma produtividade, mesmo o projeto mantendo sua pontuação de construtibilidade, pois o fator administração da obra também entra em consideração, além de outros (BCA, 2017). Por outro lado, o que pode ser considerado, é que um projeto que possua uma alta pontuação de construtibilidade, será executado por uma empresa com menos mão de obra necessária do que um projeto com pontuação de construtibilidade baixa sendo executado pela mesma empresa.

## 2.7 *Buildability Assessment Model* (BAM)

O *Buildability Assessment Model* (BAM) foi desenvolvido em Hong Kong com o objetivo de se entender a construtibilidade do local. O modelo contou com diversas entrevistas entre profissionais e experientes na área de modo que os dados fossem levantados para se desenvolver o método de avaliação da construtibilidade.

O modelo teve como base a consideração dos fatores de construção já considerados pelo BDAS, porém com adição de alguns novos. No conjunto total, o BAM é dividido principalmente entre 6 sistemas, sendo eles: Sistemas de Estrutura, Sistemas de Lajes, Sistema de Envelope (onde constam paredes externas), Sistema de Telhado, Outros Aspectos Construtivos (paredes internas, sistemas de acabamento, aspectos dos serviços construtivos e elementos de construção) e Fatores Específicos de Local.

Dentre os citados, os primeiros desde o sistema de estruturas até o telhado são direcionados ao sistema de construção em si. Já dentro das outras características de construção, o sistema de finalização está vinculado com os sistemas de acabamento de forro interno, paredes internas, piso interno, paredes externas e acabamento de telhado. As considerações para aspectos de serviços construtivos, variam de espaço e detalhes até padronização. Quanto aos fatores específicos de local, são considerados o entorno, formato da construção, construções subterrâneas, perigos, etc.

O sistema de cálculo de construtibilidade do BAM é muito parecido com o BDAS, porém, sua pontuação máxima é de 100 pontos, a qual é obtida somando-se as pontuações parciais de cada um dos 6 sistemas acima citados. A diferença é que cada sistema dentro do BAM possui um peso diferente, o *Buildability Weighting* (BW), que são coeficientes que multiplicam cada sistema representante no cálculo do método a fim de se indicar a importância relativa que cada um tem no projeto. Dentro de cada sistema, para os sistemas de Estrutura, Lajes, Envelope, Telhado e dois dos Outros Aspectos Construtivos (paredes internas e sistemas de acabamento) o cálculo se obtém da mesma forma como feito pelo BDAS, onde cada elemento de projeto dentro do sistema recebe um valor de índice, o *Buildability Index* (BI), o qual varia de 0 a 1, e esse valor é multiplicado pela porcentagem de área ou volume ocupado por aquele elemento. Já para o restante dos sistemas, a pontuação é obtida baseada em elementos individuais de projeto e seus respectivos BIs. Além dos sistemas citados, 10 pontos são destinados para a consideração de soluções de projeto que aumentem a construtibilidade e que não são considerados pelo modelo. Ambos *Buildability Weighting* e *Buildability Index* são

derivados de questionários e entrevistas feitas em campo, e serão apresentados a seguir pelas Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1– *Buildability Weightings* dos componentes do projeto

<b>Componentes do projeto</b>	<b>Peso médio de importância da construtibilidade (<i>Buildability Weightings</i>)</b>
Sistemas de Molduras Estruturais	23%
Sistemas de Lajes	14%
Sistemas de Envelopes	19%
Sistemas de Telhados	10%
Paredes internas	3%
Sistemas de acabamento	2%
Aspectos dos serviços construtivos	3%
Elementos de construção	4%
Fatores específicos do local	12%
Pontuação livre	10%
<b>Total:</b>	<b>100%</b>

Fonte: Maestri (2018) adaptado de (WONG, 2007)

Tabela 2 - *Buildability Weightings* dos elementos de sistemas de acabamentos

<b>Localização dos acabamentos</b>	<b><i>Buildability Weightings</i></b>
Tetos internos	20%
Paredes internas	20%
Pisos internos	20%
Paredes externas	30%
Telhado	10%
<b>Total:</b>	<b>100%</b>

Fonte: Maestri (2018) adaptado de (WONG, 2007)

Tabela 1 indica os *Buildability Weightings* para os sistemas gerais, os quais serão utilizados posteriormente para o cálculo de construtibilidade do projeto, enquanto a Tabela 2 indica o quão significativas são as localizações de acabamentos.

Após os pesos de cada fator já estipulados, pode-se seguir para o cálculo de construtibilidade.

### 2.7.1 Sistemas de Supraestrutura

Sistemas de Estrutura: Para o cálculo da subpontuação estrutura, deve considerar o volume percentual ocupado pelo sistema adotado ( $V_s$ ), e seus *Buildability Indices* ( $BIs$ ), representados no Quadro 6 apresentado a seguir. Após multiplicados os dois valores, o resultado ainda deve ser multiplicado pelo *Buildability Weightings* correspondente ao sistema de estruturas e indicado na Tabela 1 apresentada acima. Considerando-se o BW como 23, a subpontuação desse sistema é representada pela Equação 4:

$$\text{Subpontuação para o sistema de estruturas} = 23 \sum(V_s \times BIs) \quad (4)$$

Sistemas de Lajes: Seguindo a ideia do cálculo do sistema de estrutura, para o cálculo do sistema de lajes, deve-se considerar a área percentual ocupada pelo sistema adotado ( $Al$ ), e da mesma forma, seu *Buildability Indice* ( $BIL$ ), representado no quadro 06. Novamente, o resultado da multiplicação dos dois valores ainda deve ser multiplicado pelo seu BW, que para lajes apresenta valor 14, portanto, temos como subpontuação para o sistema de lajes, a Equação 5.

$$\text{Subpontuação para o sistema de lajes} = 14 \sum(Al \times BIL) \quad (5)$$

Seguindo o mesmo raciocínio dos sistemas anteriores, os sistemas de Envelope, Telhado e Paredes Internas são calculados da mesma maneira e representados, respectivamente, pelas Equações 6, 7 e 8:

$$\text{Subpontuação para o sistema de envelope} = 19 \sum(Ae \times BIE) \quad (6)$$

$$\text{Subpontuação para o sistema de telhado} = 10 \sum(Ar \times BIR) \quad (7)$$

$$\text{Subpontuação para o sistema de paredes internas} = 3 \sum(Aw \times BIW) \quad (8)$$

Onde, ( $Ae$ ) representa a área percentual ocupada pelo sistema de envelope adotado, ( $Ar$ ) representa a área percentual ocupada pelo sistema de telhado adotado e ( $Aw$ ) representa a área percentual ocupada pelo sistema de parede interna adotado, assim como  $BIE$ ,  $BIR$  e  $BIW$  representam os *Buildability Weightings* para os sistemas de envelope, telhado e paredes internas, respectivamente, tendo o primeiro como valor correspondente 19 pontos, o segundo

10 pontos e o último 3 pontos. Os valores dos *Buildability Indices* para os sistemas estão apresentados no Quadro 6 a seguir.

Quadro 6 – *Buildability Indices* da superestrutura

Partes diferentes da superestrutura de um edifício	Sistemas de construção comuns	<i>Buildability Indices</i>
Estrutura (exceto lajes)	• Estrutura de concreto armado pré-fabricado *	1,00
	• Aço estrutural com revestimento antichamas *	0,88
	• Concreto armado moldado in loco	0,81
	• Pilares-parede moldados in loco / Blocos estruturais	0,76
	• Sistemas mistos aço-concreto	0,74
Laje	• Laje pré-fabricada com revestimento in loco *	1,00
	• <i>Steel Deck</i> coberto por cama de concreto in loco *	0,94
	• Laje de concreto armado in loco	0,74
	• Laje plana	0,65
	• Laje de concreto protendida	0,37
Envelope	• Parede de concreto pré-fabricada com janelas e acabamentos pré-instalados *	1,00
	• Parede Cortina *	0,80
	• Parede de concreto moldada in loco	0,70
	• Forma pré-acabada para lançamento de concreto in loco *	0,70
	• Bloco de concreto ou tijolo cerâmico	0,69
Telhado	• Telhado de concreto pré-fabricado *	1,00
	• <i>Steel Deck</i> coberto com concreto in loco *	1,00
	• Telhado compósito aço-concreto sobre treliças metálicas *	0,88
	• Telhado de concreto in loco	0,81
	• Dry wall *	1,00
Parede interna	• Bloco de concreto / Tijolo cerâmico	0,73
	• Parede de concreto armado moldada in loco	0,57

Fonte: Maestri (2018) adaptado de (WONG, 2007)

Notas: onde as condições locais tornarem as operações de transporte e içamento difíceis ou inseguras, os respectivos *Buildability Indices* (BIs) com um asterisco devem ser multiplicados por um fator de redução 0,5.

Na tabela original acima, os *Buildability Indices* não estavam ranqueados de 0 a 1 como proposto, então considerou-se o índice mais alto como sendo 1, e a partir dele fez-se a relação dos sucessores. Na tabela original, o somatório dos índices de todos os sistemas era igual a 1. A tabela original pode ser consultada no anexo A.

### 2.7.2 Sistemas de acabamento

Fazem parte do sistema de acabamento os sistemas de: tetos internos, paredes internas, pisos internos, paredes externas e telhado.

Para todos os sistemas acima citados, o cálculo se dá da mesma forma, multiplicando-se a área percentual ocupada pelo sistema pelo seu *Buildability Indice*, e após, pelo seu *Buildability Weighting*.

Para o sistema de paredes internas, multiplica-se sua área percentual de elevação do sistema de parede interna adotado ( $A_{iw}$ ) pelo seu *Buildability Indice* ( $B_{liw}$ ). O BW para esse sistema é de 20 pontos.

Para o sistema de pisos internos, multiplica-se a área percentual de piso ocupada pelo sistema adotado ( $A_{if}$ ) pelo seu *Buildability Indice* ( $B_{lif}$ ). O BW para esse sistema é de 20 pontos.

O sistema de tetos internos calcula-se da mesma maneira, multiplicando-se a área percentual de ocupação do sistema de tetos internos adotado ( $A_{ic}$ ) pelo seu *Buildability Indice* ( $B_{lic}$ ). O BW para esse sistema é de 20 pontos.

O mesmo é válido para o sistema de paredes externas, onde o cálculo se dá pela multiplicação da área percentual ocupada pelo sistema de paredes externas adotado ( $A_{ew}$ ) pelo *Buildability Indice* ( $B_{lew}$ ) correspondente. O BW para esse sistema é de 30 pontos.

Para o último, sistema de telhados, o cálculo se dá pela multiplicação da área percentual ocupada pelo sistema de telhado adotado ( $A_{rc}$ ) e seu respectivo *Buildability Indice* ( $B_{irc}$ ). O BW para esse sistema é de 10 pontos.

Todos os valores de *Buildability Indices* são apresentados no Quadro 7

Após calculados todos os sistemas separadamente, pode-se calcular o valor de “ $BS_{finishing}$ ” que representa a soma de todos os sistemas, representado pela Equação 9.

$$BS_{finishing} = 20 \sum(A_{iw} \times B_{liw}) + 20 \sum(A_{if} \times B_{lif}) + 20 \sum(A_{ic} \times B_{lic}) + 30 \sum(A_{ew} \times B_{lew}) + 10 \sum(A_{rc} \times B_{irc}) \quad (9)$$

De acordo com a Tabela 1, a pontuação máxima para os sistemas de acabamento é de 2 pontos, portanto, após efetuado o cálculo do “ $BS_{finishing}$ ”, o mesmo deve ser corrigido para que possa entrar na pontuação do sistema, representado pela Equação 10 abaixo.



$$SSA = 2 \frac{(BS_{finishing})}{100} \quad (10)$$

Onde:

SSA - Subpontuação para os Sistemas de Acabamento

Quadro 7 - *Buildability Indices* dos sistemas de acabamento (continua)

Localização	Sistema de acabamento	<i>Buildability Indices</i>	
Tetos internos	• Sem acabamento (aparente/desformado)	1,00	
	• Rebaixo de forro com gesso	0,75	
	• Reboco e tinta tradicionais (pré-acabados)	0,68	
	• Reboco e tinta tradicionais (aplicados in loco)	0,57	
	• Reboco e tinta a jato (pré-acabados)	0,71	
	• Reboco e tinta a jato (aplicados in loco)	0,63	
	• Vidro (pré-instalado)	0,75	
	• Vidro (fixado in loco)	0,55	
	• Placa de gesso, massa corrida e tinta	0,70	
Paredes internas	• Sem acabamento (aparente/desformado)	0,90	
	• Reboco e tinta tradicionais (pré-acabados)	0,66	
	• Reboco e tinta tradicionais (aplicados in loco)	0,59	
	• Reboco e tinta a jato (pré-acabados)	0,74	
	• Reboco e tinta a jato (aplicados in loco)	0,65	
	• Porcelanato/azulejo nivelado (pré-acabado)	0,74	
	• Porcelanato/azulejo nivelado (aplicado in loco)	0,58	
	• Granito/Cantaria (pré-acabado)	0,70	
	• Granito/Cantaria (aplicado in loco)	0,57	
	• Revestimento de metal (pré-acabado)	0,77	
	• Revestimento de fibra de vidro reforçada (pré-acabado)	0,73	
	• Vidro estrutural (pré-instalado)	0,73	
	• Vidro estrutural (fixado in loco)	0,69	
	• Placa de gesso, massa corrida e tinta	0,74	
	Pisos internos	• Porcelanato/azulejo nivelado (pré-acabado)	0,71
• Porcelanato/azulejo nivelado (aplicado in loco)		0,63	
• Granito/Cantaria (pré-acabado)		0,64	
• Granito/Cantaria (aplicado in loco)		0,59	
• Sem acabamento (aparente) (sobre concreto)		0,87	
• Sem acabamento (aparente) (sobre tijolo cerâmico)		0,76	
• Reboco e tinta tradicionais (pré-acabados)		0,74	
• Reboco e tinta tradicionais (aplicados in loco)		0,60	
• Reboco e tinta a jato (pré-acabados)		0,76	
• Reboco e tinta a jato (aplicados in loco)		0,66	
Paredes externas		• Porcelanato/azulejo nivelado (pré-acabado)	0,72
		• Porcelanato/azulejo nivelado (aplicado in loco)	0,53
		• Granito/Cantaria (pré-acabado)	0,71
		• Granito/Cantaria (aplicado in loco)	0,53
		• Revestimento de metal (pré-acabado)	0,76
	• Revestimento de fibra de vidro reforçada (pré-acabado)	0,70	
	• Vidro (pré-instalado)	0,75	
	• Vidro (fixado in loco)	0,61	

Quadro 07 – *Buildability Indices* dos sistemas de acabamento (conclusão)

Localização	Sistema de acabamento	<i>Buildability Indices</i>
Telhado	• Telhado plano - Membrana impermeabilizante com camada protetora	0,73
	• Telhado plano - Impermeabilização líquida aplicada com camada protetora	0,72
	• Telhas metálicas com isolamento separado e barreira para vapor	0,66
	• Telhado de deque de metal – compósito aço-concreto	0,73
	• Telha cerâmica (para telhados inclinados)	0,51
	• Placas de PVC rígido ou fibra de vidro reforçada	0,65

Fonte: Maestri (2018) adaptado de (WONG, 2007)

### 2.7.3 Sistemas de Aspectos de Serviços Construtivos

O próximo sistema a ser considerado na pontuação do modelo é o de aspectos construtivos, onde sua subpontuação de construtibilidade se calcula como apresentado pela Equação 11, multiplicando-se os valores de “BI<sub>bs</sub>” os quais representam os valores dos *Buildability Indices* de um aspecto construtivo, que estão indicados no Quadro 8 e “cov<sub>bs</sub>”, que representa a porcentagem de aplicabilidade no projeto. Após feito o somatório de todos os aspectos e multiplicados pelas suas respectivas porcentagens, divide-se esse valor pelo somatório de todos os BI<sub>bs</sub> e multiplica-se pelo seu valor de *Buildability Weightings*, que nesse caso vale 3 pontos.

$$SSASC = 3 \frac{\Sigma(BI_{bs} \times cov_{bs})}{Soma\ de\ todos\ os\ BI_{bs}} \quad (11)$$

Sendo:

SSASC - Subpontuação para Sistemas de Aspectos de Serviços Construtivos

Quadro 8 - *Buildability Indices* para os Aspectos dos serviços construtivos

Aspectos dos serviços construtivos no projeto	<i>Buildability Indices</i>
<b>Espaço</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Espaço e localização apropriados para equipamentos e reservatórios (por exemplo: de preferência, que equipamentos volumosos estejam localizados no nível do solo em vez de no subsolo)</li> </ul>	0,758
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pé-direito adequado para tubos e dutos</li> </ul>	0,781
<ul style="list-style-type: none"> <li>Acesso permitido para instalação de equipamentos (por exemplo: portas duplas ou aberturas reservadas com largura adequada para serem preenchidas mais tarde)</li> </ul>	0,767
<b>Detalhes</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Detalhes adequados de penetração de tubulações e cabos</li> </ul>	0,763
<ul style="list-style-type: none"> <li>Detalhes claros de instalação para componentes escondidos (por exemplo: leiaute dos condutos e caixa de ligação)</li> </ul>	0,698
<ul style="list-style-type: none"> <li>Detalhes claros para o suporte de equipamentos (por exemplo: pedestal de concreto e construção antivibração)</li> </ul>	0,721
<b>Coordenação</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Demarcação clara mostrando as interfaces entre diferentes sistemas (por exemplo: fornecimentos de água e energia com sistemas de ar condicionado)</li> </ul>	0,800
<ul style="list-style-type: none"> <li>Coordenação entre dimensões dos tubos e espaço para canalização</li> </ul>	0,752
<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabalho feito preferencialmente em uma etapa para evitar ao máximo serviços ocorrendo conjuntamente (por exemplo: instalação de difusores e grades de ar condicionado e instalação de teto falso e dutos de iluminação)</li> </ul>	0,726
<b>Tubulação e canalização</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de dutos e tubulações pré-isolados</li> </ul>	0,642
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de dutos e tubulações flexíveis de fácil conexão</li> </ul>	0,656
<ul style="list-style-type: none"> <li>Administração e identificação clara dos cabos, incluindo o sistema de controle das instalações elétricas</li> </ul>	0,735
<b>Integração</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso dos Sistemas de Montagem Universal</li> </ul>	0,693
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de pacotes de equipamento com painéis de controle integrados</li> </ul>	0,698
<b>Uso de guindastes e gruas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Requisitos especificados de guindastes ou gruas para içar equipamentos em sua posição (exemplo: erguer motores e resfriadores até o telhado)</li> </ul>	0,698
<b>Padronização</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de componentes padronizados</li> </ul>	0,767

Fonte: Maestri (2018) adaptado de (WONG, 2007)

#### 2.7.4 Elementos de Construção

Para se calcular a pontuação de elementos de construção, da mesma maneira como calculado para os aspectos de serviços construtivos, é feita a multiplicação do somatório de seus *Buildability Indices* ( $BI_{bf}$ ), pela sua porcentagem de uso ( $cov_{bf}$ ). Os *Buildability Indices* estão

indicados a seguir no Quadro 9. Da mesma maneira como no sistema anterior, o resultado do somatório dos produtos, deve ser dividido pela soma de todos os  $BI_{bf}$  e multiplica-se ainda pelo seu *Buildability Weighting* (BW) de 4 pontos, como representado pela equação 12.

$$SEC = 4 \frac{\Sigma(BI_{bf} \times cov_{bf})}{\text{Soma de todos os } BI_{bf}} \quad (12)$$

Sendo:

SEC - Subpontuação para elementos de construção

Quadro 9 - *Buildability Indices* para os Elementos de construção (continua)

<b>Elementos de construção</b>	<b><i>Buildability Indices</i></b>
<b>Padronização</b>	
• Uso de pilares padronizados com mesmas dimensões em corte transversal para pavimento tipo (por exemplo: 30 cm x 40 cm)	0,88
• Uso de dimensões padronizadas para vigas por todos os pavimentos (por exemplo: 30 cm x 60 cm)	0,86
• Uso de dimensões padronizadas para portas	0,85
• Uso de dimensões padronizadas para janelas e lanternins	0,88
• Uso de leiautes modulares	0,86
• Uso de alturas padronizadas para o andar	0,89
• Uso de grades horizontais repetitivas (entre apoios)	0,94
• Uso de detalhes construtivos padronizados (por exemplo: disposição dos vergalhões para vigas, paredes e pilares)	0,94
<b>Pré-fabricação</b>	
• Acabamentos pré-instalados para componentes pré-fabricados	0,88
• Uso de banheiros ou toaletes independentes pré-fabricados com acabamentos, louça sanitária e tubulações instaladas	0,89
• Uso de escadas pré-fabricadas	0,88
• Uso de shafts horizontais e verticais pré-fabricados, por exemplo, dutos de serviço, cabos e canaletas	0,87
<b>Simplicidade</b>	
• Componentes fáceis de montar in loco com instruções simples	1,00
• Projetos coordenados com o mínimo de referências	0,96
<b>Detalhes</b>	
• Tolerâncias razoáveis especificadas	0,93
• Detalhes ampliados fornecidos para evitar possíveis conflitos no espaço	0,90
<b>Flexibilidade</b>	
• Componentes e peças intercambiáveis, por exemplo, orientação esquerda/direita de equipamentos, como armários ou pias de cozinha	0,85

Quadro 9 – *Buildability Indices* para os Elementos de construção (conclusão)

Elementos de construção	<i>Buildability Indices</i>
<b>Instalação</b>	
• Projetar para materiais, equipamentos, produtos, peças pré-fabricadas disponíveis localmente	0,86
• Permitir detalhes de construção alternativos, por exemplo, sequência de materiais ou construção a ser proposta pelos empreiteiros	0,86
• Dimensões e pesos dos materiais e componentes são seguros para os trabalhadores manusearem utilizando a maquinaria comumente disponível	0,86
• Projetar para maquinaria e equipamento disponíveis localmente	0,84
• Projetar para mão de obra, com habilidades e conhecimentos técnicos, disponível localmente	0,91
<b>Dependência nos desenhos de fábrica ou dos empreiteiros</b>	
• Projetos de empreiteiros especialistas são solicitados, fornecendo-se critérios de desempenho claros e orientação, caso for necessário	0,91

Fonte: Maestri (2018) adaptado de (WONG, 2007)

### 2.7.5 Fatores Específicos do local

A pontuação para os fatores específicos de local, é dada pela divisão do somatório de todos os *Buildability Indices* ( $BI_{ss}$ ) utilizados no projeto, e indicados no quadro 10, pela soma de todos os  $BI_{ss}$  que poderiam ser aplicados no projeto, conforme a equação 13. O resultado ainda é multiplicado pelo seu BW correspondente, que para fatores específicos de local equivale à 4 pontos.

$$SFEL = 12 \frac{\Sigma(BI_{ss})}{\text{Soma de todos os } BI_{ss} \text{ aplicáveis}} \quad (13)$$

Onde:

SFEL - Subpontuação para Fatores Específicos de Local

Deste modo, fatores que não são relevantes ao projeto não apresentarão um valor tendencioso. A pontuação máxima para esse termo é de 12 pontos.

Quadro 10 - *Buildability Indices* para os Fatores específicos do local (continua)

<b>Fatores específicos do local</b>	<b>Buildability Indices</b>
<b>Ambiente circundante</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitir áreas de depósito temporário para construção</li> </ul>	0,78
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitir que o espaço de trabalho possibilite uma construção segura</li> </ul>	1,00
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar acessos temporários e estradas de saída para operações na construção</li> </ul>	0,93
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício leva em consideração quando o perímetro do local é limítrofe a edifícios ou estruturas vulneráveis, por exemplo, construções antigas e dilapidadas</li> </ul>	0,84
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício leva em consideração quando a área do local é adjacente a construções ou estruturas ocupadas</li> </ul>	0,70
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício leva em consideração quando o perímetro do local é limítrofe a outros locais de construções</li> </ul>	0,76
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício leva em consideração quando o perímetro do local é limítrofe a calçadas para pedestres</li> </ul>	0,90
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício leva em consideração quando a área do local é limítrofe a declives ou muros de contenção</li> </ul>	0,99
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício leva em consideração quando a área do local está em declive</li> </ul>	0,81
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício fornece maior espaço aberto do que a taxa de ocupação do canteiro</li> </ul>	0,96
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informações sobre serviços, por exemplo, encanamentos de esgoto, dutos de gás da cidade ou cabos elétricos/telecomunicação, localizados abaixo do solo devem ser fornecidos claramente</li> </ul>	0,89
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício leva em consideração a situação quando o local é adjacente a áreas que contêm água, por exemplo, enseadeiras para obras próximas ao mar, rios, reservatórios ou lagos</li> </ul>	0,95
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto do edifício leva em consideração a dificuldade em instalar cercas, guindastes ou escoras a construções adjacentes</li> </ul>	0,79
<b>Formato da implantação da construção em relação à configuração local</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitir o movimento da maquinaria com raio de giração adequado</li> </ul>	0,94
<b>Perigos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Local limpo de substâncias perigosas conhecidas pela equipe de projeto, por exemplo, amianto</li> </ul>	0,83
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precaução foi tomada durante o projeto contra estabelecimentos perigosos perto do local da obra, por exemplo, adjacente a estações de energia, cabos de alta tensão subterrâneos ou suspensos ou depósitos de gás/petróleo</li> </ul>	0,92
<b>Construção subterrânea</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto da obra permanente que facilite o projeto de trabalhos temporários e sua construção, por exemplo, pilares utilizados para apoiar plataformas temporárias</li> </ul>	0,95
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evidência clara de consideração pela segurança incorporada no projeto</li> </ul>	0,97
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evidência clara de considerações incorporadas no projeto para minimizar a entrada da água e dificuldades geotécnicas, como falhas e buracos</li> </ul>	1,01

Quadro 10 – *Buildability Indices* para os Fatores específicos do local (conclusão)

Fatores específicos do local	Buildability Indices
<b>Preservação</b>	
• Instruções claras fornecidas para a preservação de árvores, monumentos, etc, adjacentes ao local da obra	0,81
• Instruções claras fornecidas para a preservação de árvores, monumentos, etc, dentro do local da obra	0,95
<b>Resoluções do projeto quanto a restrições impostas pelo Governo / Cliente / Usuários, etc.</b>	
• Resoluções do projeto quanto a restrições de horas trabalhadas, por exemplo, projetar passarelas pré-fabricadas sobre estradas movimentadas em vez de fabricá-las in loco	0,83
• Resoluções do projeto quanto a restrições da sequência de construção, por exemplo, lajes que permitam (grandes) aberturas em obras de subsolo com sequência de construção de cima para baixo	0,95
• Resoluções do projeto quanto à disponibilidade de serviços de utilidade temporários, por exemplo, projetar pontos de poço para fornecer água em obras de áreas remotas	0,91

Fonte: Maestri (2018) adaptado de (WONG, 2007)

### 2.7.6 Pontuação Bônus

Com um valor de pontuação máxima de 10 pontos, a fim de se considerar soluções que possam aumentar a construtibilidade de projeto que podem não ter sido considerada pelo modelo, esse termo é incluso no cálculo final da construtibilidade do projeto. A avaliação dessa pontuação é feita por avaliadores baseada em declarações feitas pela equipe de projeto.

### 2.7.7 Pontuação total de construtibilidade (*BScore*)

Por fim, a pontuação final de construtibilidade (*BScore*) mede o quanto um projeto facilita a produtividade, eficiência e segurança de sua execução, variando em uma escala de pontuação de 1 a 100, sendo o valor 100 atribuído ao projeto mais “construtível”. A pontuação final é obtida através da soma de todos os sistemas anteriormente mencionados, representada pela Equação 14 desenvolvida por WONG (2007).

$$\begin{aligned}
 BScore = & 23 \Sigma(Vs \times BIs) + 14 \Sigma(Al \times BIl) + 19 \Sigma(Ae \times BLe) + 10 \Sigma(Ar \times BIr) + \\
 & 3 \Sigma(Aw \times BIw) + 2 \frac{(BS_{finishing})}{100} + 3 \frac{\Sigma(BIbs \times covbs)}{Soma \ de \ todos \ os \ BIbs} + 4 \frac{\Sigma(BIbf \times covbf)}{Soma \ de \ todos \ os \ BIbf} + \\
 & 12 \frac{\Sigma(BIss)}{Soma \ de \ todos \ os \ BIss \ aplicáveis} + 10 \text{ Pontos Bônus}
 \end{aligned} \tag{14}$$

Onde, pela equação 15

$$BS_{\text{finishing}} = 20 \Sigma(Aiw \times Bliw) + 20 \Sigma(Aif \times Blif) + 20 \Sigma(Aic \times Blic) + 30 \Sigma(Aew \times Blew) + 10 \Sigma(Arc \times Birc) \quad (15)$$

## 2.8 IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS PRELIMINARES

Segundo a TCPO (Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos) (PINI, 2012) os serviços iniciais são identificados como sendo:

### **Serviços Iniciais:**

- Canteiro de Obras
- Demolições
- Limpeza do Terreno
- Movimentação de Terra
- Locação da obra

### **Infraestrutura:**

- Fundações

Para o contexto do desenvolvimento do presente trabalho, a etapa de fundações foi considerada como sendo uma etapa preliminar por não estar contida no conjunto da superestrutura. Além da etapa de fundação, outras duas etapas são abordadas, a de canteiro de obras, e a de movimentação de terras.

As etapas que serão a seguir discutidas foram selecionadas por apresentarem geralmente um grande impacto no desenvolvimento de um empreendimento quando comparadas às outras, assim como pode ser observado na curva ABC de projetos de construção civil em geral.

Além disso, outro motivo para escolha dos três serviços para o estudo foi a frequência de incidência nas obras, e por fazerem parte do caminho crítico do planejamento de obras em geral.



O canteiro de obras foi selecionado por ter, sabidamente, impacto na gestão e andamentos das obras em geral.

A Tabela 3 a seguir apresenta a participação média dos serviços em um orçamento de edificações de 8 a 12 pavimentos, onde podemos observar a presença da movimentação de terra e fundações. O canteiro de obras também foi considerado por apresentar grande custo em um empreendimento e por ser de suma importância para o desenvolvimento de outras atividades.

Tabela 3 - Participação percentual média dos serviços em um orçamento – edificações de padrão normal, de 8 a 12 pavimentos

#	Item	%
<b>Custos diretos</b>		
1	Serviços preliminares	1,00
2	Movimento de solo e fundações	3,50
3	Estrutura	19,00
4	Alvenaria	7,00
5	Impermeabilizações	1,40
6	Instalações elétricas e telefônicas	5,20
7	Instalações hidráulicas, sanitárias, pluviais, de incêndio e de gás	9,80
8	Aparelhos sanitários, louças, metais e acessórios	1,80
9	Pisos e rodapés	6,00
10	Esquadrias, vidros e ferragens	7,00
11	Revestimentos de fachada	4,80
12	Revestimentos internos, inclusive forros	3,30
13	Pintura interna	2,00
14	Pintura externa	1,50
15	Elevador	1,80
16	Cobertura	0,50
17	Serviços complementares	1,00
18	Paisagismo	0,40
Subtotal		77,00
<b>Custos de administração e indiretos</b>		
1	Taxas e impostos	0,20
2	Equipamentos	0,80
3	Despesas indiretas	4,00
4	Gerenciamento	4,50
5	Lucro construção	5,00
6	IR sobre lucro construção	8,50
Subtotal		23,00
Total		100,00

Fonte: González (2008)

## 2.9 ETAPAS PRELIMINARES

### 2.9.1 CANTEIRO DE OBRAS:

O canteiro de obras de obras tem sido considerado um passo decisivo no planejamento das construções por atuantes da área e pesquisadores. O planejamento do canteiro envolve o reconhecimento de problemas e oportunidades, desenvolvendo soluções e implementando a melhor alternativa para o caso. Portanto, primeiramente, o planejamento do canteiro se baseia em determinar os objetivos do mesmo, os quais podem ser variados, e suas restrições. Em segundo lugar, a identificação das instalações do canteiro e do seu espaço disponível, que pode muitas vezes ser uma área não uniforme e caracterizada como dinâmica durante o processo de construção. Em terceiro lugar, a elaboração de alternativas para o canteiro, de modo que supra os objetivos e respeite as restrições, e finalmente, se avalie e implemente a melhor solução para cada caso de planejamento de canteiro (NING; LAM; LAM, 2011).

A ideia de se estabelecer um *layout* de canteiro de obra visa a determinação de quais atividades temporárias serão necessárias e qual a posição das mesmas em um espaço físico e temporal dentro do projeto de maneira que assim, adquira-se uma melhor qualidade no processo de construção (MAWDESLEY; AL-JIBOURI; YANG, 2002).

Segundo RazaviAlavi e AbouRizk (2017) o planejamento do canteiro de obras nos projetos de construção está intimamente envolvido com a posição e o tamanho das instalações temporárias e influencia a produtividade e segurança dos mesmos. Porém, é uma atividade considerada complexa pela dependência entre os fatores influentes nela.

De acordo com Tommelein (1992), instalações de um canteiro são aquelas que estão presentes no mesmo por um determinado período, podendo este ser curto ou longo, durando pela extensão de apenas uma atividade ou até mesmo tendo a duração de toda a construção. Apesar de possuírem uma grande variedade de número e funções, todas possuem uma atividade em comum que é o auxílio às atividades de construção.

Alguns pontos positivos relacionados à aplicação um estudo de canteiro são redução no custo de projeto, melhor qualidade de trabalho, melhora na segurança das operações e ainda no ambiente geral de trabalho.

Um bom *layout* de canteiro deve favorecer uma redução na quantidade de tempo não produtivo, que pode ser resultado de um mau planejamento e coordenação das várias atividades presentes em uma obra. Uma maneira de se atingir esse objetivo, é reduzindo os tempos de

viagem e a eliminação de uma movimentação de recursos e manuseio de materiais desnecessários (MAWDESLEY, AL-JIBOURI E YANG, 2002).

Embora seja notável que o planejamento do canteiro implica fundamentalmente na eficiência das operações, prazos, custos e na qualidade da obra, os gerentes comumente tendem a realizar tal atividade apenas através da tentativa e erro, ao longo de muitos anos de trabalho (TOMMELEIN, 1992).

Grande parte dos canteiros de obras abrangem itens como uma estrutura básica a ser construída, instalações que irão suprir o projeto, obstruções à sua volta (árvores, prédios, entre outros), movimentação interna e delimitações de terreno. As soluções para os problemas de canteiros já foram propostas por diversas técnicas, mas é muito difícil de se estabelecer um *layout* “ótimo” através de cálculos manuais. Com isso em mente, técnicas de otimização são geralmente usadas para se tratar desses problemas (SANAD, AMMAR E IBRAHIM, 2008).

Segundo RazaviAlavi e AbouRizk (2017), existem alguns estudos que relatam sobre como encontrar a localidade “ótima” das instalações levando em consideração alguns fatores como preferência dos planejadores, custo de viagens, segurança e riscos ambientais e acessibilidade. O objetivo de muitos desses estudos, para questões de otimização, seria minimizar a soma ponderada da função distância, definida como  $\sum w \times d$ , que atribui peso de acordo com a importância ou com o custo de interações entre instalações. Dois são os métodos existentes para se determinar os pesos, sendo o primeiro o método quantitativo, o qual utiliza o custo por unidade de comprimento de transporte entre instalações como representação (\$/m), e o segundo método, o qualitativo, em que o peso representa taxas subjetivas de proximidade entre instalações.

Ambos os métodos possuem desvantagens, sendo a dificuldade de se estabelecer um custo por unidade de comprimento para transporte atribuída ao método quantitativo e o fato de que pesos subjetivos não representam um custo real de transporte atrelada ao método qualitativo (RAZAVIALAVI; ABOURIZK, 2017).

Mawdesley, Al-jibouri e Yang (2002) durante sua pesquisa, realizaram entrevistas com engenheiros atuantes e equipes de construção para se levantar a importância do problema no geral. Além de estudar essa importância, alguns outros fatores foram identificados como sendo importantes, e estão listados a seguir.

- a) Acesso e rotas de tráfego: muitos canteiros exigem que diversos recursos sejam trazidos para o local ou levados para fora dele, como mão de obra, equipamentos e material. Esse movimento de entrada e saída dos locais é chamado de “acesso”,

enquanto o movimento ao redor do canteiro é chamado de “rota de tráfego”. É nítido que o tipo de projeto irá influenciar nas rotas de tráfego e acesso. Um projeto de construção de estradas, por exemplo, comparando-se um projeto de restauração no centro da cidade apresentará diferentes problemas quando comparado a um construído sobre terrenos “virgens”, mas tanto a capacidade de entrar e sair, quanto a de percorrer o local, afetará o custo, a segurança e poderá afetar o impacto ambiental. Os profissionais de construção, de uma forma geral, sugerem que o acesso e as rotas de tráfego devem ser pensados de uma forma que se evite filas de serviço e que se conecte áreas de trabalho sem cruzá-las.

- b) Armazenamento e manuseio de material: materiais necessitam ser armazenados, uma vez que, geralmente, não são utilizados assim que trazidos para a obra. Pode-se citar três tipos de materiais – os valiosos, os quais necessitam ser protegidos de roubos, os perigosos, dos quais necessitam certos cuidados e proteção, e aqueles que não são nem valiosos e nem perigosos e podem ser armazenados sem proteção. Esses três tipos de materiais remetem a diferentes tipos de instalações, com diferentes custos envolvidos na sua construção e manutenção. Profissionais sugerem que o armazenamento de materiais deve ser posicionado de forma a evitar um duplo manuseio e movimentos desnecessários dentro do canteiro, tendo em vista que o manuseio de materiais de construção é geralmente custoso e requer grandes equipamentos.
- c) Prédios de administração e instalações de bem-estar social: prédios de administração devem ter uma boa vista dos trabalhos que estão sendo executados e serem livres de ruídos. Outras instalações, como banheiros, devem ser colocadas a fim de resultar no mínimo de interrupção possível ao projeto.
- d) Equipamentos, oficinas e serviços: devem ser posicionados de modo que garantam fácil acesso e que evitem congestionamentos do local da obra.

Elias et al (1998) na época percebiam que pode haver a falta de critérios e bases teóricas na realização do planejamento das instalações dos canteiros de obras de edificações, resultando em inúmeros problemas que impactam no processo produtivo. Há um grande potencial a ser explorado no melhoramento dos canteiros de obras, contudo, observa-se que muitos dos problemas identificados nos canteiros advêm de etapas anteriores do

empreendimento, como por exemplo a falta de compatibilização de projetos e de procedimentos de execução dos serviços (ELIAS et al. 1998).

A primordial mensagem passada pelos profissionais entrevistados no estudo de Mawdesley, Al-jibouri e Yang (2002) foi que, no geral, os problemas que envolvem a elaboração do canteiro de obras são muito complicados. Eles os consideravam com algumas características, como:

- a) Muito difíceis de especificar: assim como é difícil se definir o melhor plano para a construção de um projeto, também é muito difícil definir o melhor layout de canteiro. O que pode ser de suma importância para um projeto, para outro pode não ser. Ainda, até mesmo dentro de um mesmo projeto, o que é importante em um dia, pode não ser mais no próximo.
- b) Correlacionados com outras atividades: o desenvolvimento do canteiro está muito ligado à outras tarefas de planejamento e depende fortemente nos métodos de construção empregados e outros fatores relacionados ao canteiro. O *layout* não pode ser decidido sem antes determinar as outras tarefas de planejamento, porém essas mesmas podem ser afetadas pelo canteiro. Diferentes sequências de cronograma de uma obra podem requisitar diferentes aspectos de canteiro, ou seja, sem o estabelecimento do cronograma da obra, pode ser muito difícil, se não impossível determinar o layout apropriado.
- c) Muito dinâmico: conforme o projeto progride, os requisitos da obra mudam, sendo necessárias alterações e melhorias no canteiro. Como essas alterações podem envolver todo o projeto, um canteiro definido como sendo favorável em um período, pode não ser em outros. Sendo assim, apenas um processo contínuo durante toda a duração do projeto resultaria em um canteiro “ótimo”.
- d) Pouco pesquisado: há pesquisas consideráveis no quesito *layout* de instalações, mas muito pouco foi feito no *layout* geral do canteiro. As características particulares citadas acima mostram que os métodos desenvolvidos apenas são válidos para algumas ocasiões.

Alguns aspectos devem ser inclusos para se considerar um canteiro completo:

- Instalações temporárias estabelecidas
- Layout geográfico das instalações temporárias
- O momento do estabelecimento e remoção de instalações específicas no decorrer do cronograma.

Assim, problemas de canteiro estão relacionados com qual estabelecimento é necessário e quando e onde ele deverá ser instalado (MAWDESLEY, AL-JIBOURI E YANG, 2002).

Embora as vantagens de um planejamento de canteiro sejam mais evidentes em empreendimentos de maior complexidade e tamanho, é nítido que para que se apresente um melhor aproveitamento de materiais e de trabalhadores, mesmo em obras de pequeno porte, o planejamento deve ser considerado desde os primórdios da obra (TOMMELEIN, 1992; SANTOS, 1995). Mesmo com grande potencial de economia, a difícil atribuição da diminuição de custos ao planejamento de canteiros está relacionada ao processo de construção, por este ter ligação com todos os processos produtivos de uma obra (TOMMELEIN, 1992).

Não há uma solução rápida e bem definida para os problemas de planejamento de canteiro por conta das diversas variáveis que são abrangidas durante essa etapa e que variam com cada obra (NEIL, 1980). Porém, analisando-se cada aspecto presente nos canteiros, o que se pode adotar são alguns critérios e medidas que, quando aplicados, podem resultar em pontos positivos para a obra e que sejam de fato diferenciais.

Portanto, o problema do *layout* de canteiro deve ser considerado conjuntamente ao planejamento da produção, uma vez que todos os trabalhos de construção se passam naquele ambiente, podendo serem facilitados ou dificultados. Assim, considerando a ideia de integração de projetos, tem-se a ideia da adesão de mais um componente, o planejamento do *layout* de canteiro, o qual tem uma relação forte com os demais, sendo esse laço mais presente com o projeto arquitetônico e um pouco menos com o estrutural e de instalações. Tal integração, no contexto geral, resulta na melhoria da construtibilidade da edificação (SAURIN, 1997).

Segundo Saurin (1997) a padronização destaca-se por ser uma das estratégias mais eficientes em meio às diversas outras gerenciais que vêm sendo disseminadas, podendo facilitar as atividades de planejamento, controle e implementação, gerando diversos benefícios à empresa. A padronização, portanto, deve ser considerada, principalmente por empresas que constroem obras com tecnologia e tipologia semelhantes, como uma estratégia a ser considerada.

O critério para se determinar quais processos de uma obra deveriam ser padronizados, poderia ser de custo ou de repetição, a fim de se padronizar apenas os mais expressivos, sendo que as instalações de um canteiro de obras se encaixam dentro do segundo critério (repetição), uma vez que qualquer tipo de obra, não obstante seu tamanho ou tecnologia usada, não dispensa

tais instalações, pois todas as atividades executadas no canteiro as consideram indispensáveis (MAIA et al, 1994).

Maia et al (1994), ainda reforçam a ideia de que a repetição apresenta caráter ainda mais expressivo em empresas que apresentam obras com características similares, podendo ocorrer de as instalações serem muito parecidas em várias obras, sempre respeitando as particularidades de cada uma. No que diz respeito aos benefícios da padronização das instalações, pode-se citar:

- a) Menor perda de materiais, em virtude do reaproveitamento e melhor qualidade das instalações;
- b) Diretrizes já pré-definidas para implantação do canteiro, evitando o imprevisto;
- c) Facilidade ao se planejar novos canteiros;
- d) Formação de uma imagem no mercado, ao se definir um padrão de boa qualidade;
- e) Prevenção de multas e acidentes, pela conformidade com as normas;
- f) Melhor condição de trabalho para os funcionários.

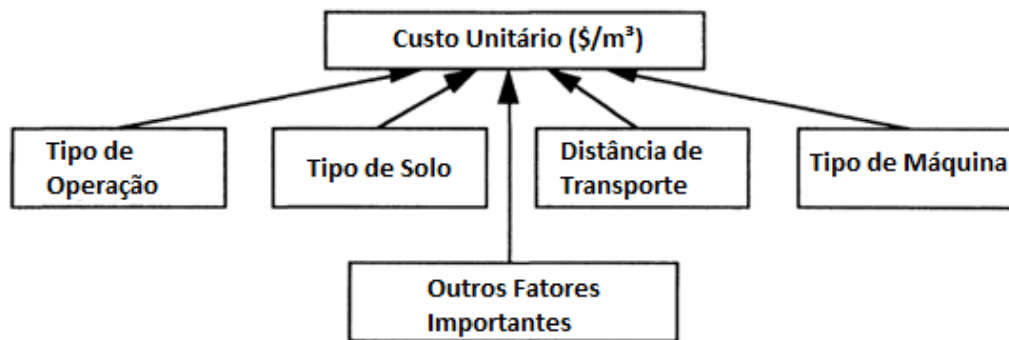
### 2.9.2 MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS

A produtividade na movimentação de terras tem sido um tema muito discutido na área da engenharia da construção e gestão por alguns motivos, Christian e Xie (1994) destacam entre eles:

- a) Terraplanagem está presente na maioria dos tipos de projetos, tanto em rodovias, represas, edifícios, sistemas de esgoto, aeroportos como em plantas industriais.
- b) A inclusão de maquinário pesado nessa etapa.
- c) Estimando-se a produtividade da movimentação de terras, pode-se destacar os fatores determinantes que a impactam além de determinar a eficiência da operação.

A movimentação de terras engloba um ambiente dinâmico, onde incertezas podem surgir pela alta dependência do contexto e da performance da operação, por exemplo, manutenção de equipamento, condições climáticas, situações inesperadas de campo e mudanças de cronograma (ALZRAIEE, MOSELHI E ZAYED, 2012) assim como mostra a Figura 2. A eficiência da terraplanagem varia amplamente, tendo como fatores influentes as propriedades da terra tais como rugosidade, teor de umidade, contração e inchamento. Porém, através de um planejamento apropriado, pode-se diminuir tempos de espera e outros atrasos, diminuindo o risco de custo elevado e tornando o processo mais produtivo (CHRISTIAN; XIE, 1994).

Figura 2– Fatores Influentes na performance do Maquinário



Fonte: Adaptado pelo autor (Christian e Xie, 1994).

Através de entrevistas e questionários feitos com especialistas, Christian e Xie (1994), relatam que imprecisões geralmente são comuns em estudos de terraplenagem derivadas de considerações geralmente abrangentes realizadas durante o processo. Um exemplo seria o custo médio unitário, que pode variar consideravelmente quando a taxa de produtividade adotada para a elaboração do custo unitário não é atingida.

Segundo Kim e Bai (2015), embora existam muitos projetos de pesquisa sobre a melhoria na produtividade da terraplanagem, são poucos os que abrangem o assunto dentro da área urbana.

Caracteriza-se por uma operação de movimentação urbana de terras, aquela que ocorre em uma área onde tem-se uma significativa quantidade de obras feitas pelo homem quando comparada aos arredores.

Durante sua pesquisa, Kim e Bai (2015) selecionaram quatro tipos de terraplanagem diferentes aleatoriamente, e utilizaram uma modelagem de múltipla regressão para determinar os fatores determinantes da produtividade na movimentação de terras. As variáveis utilizadas para o estudo foram o número de transportadoras, capacidade da caçamba, tempo de partida, número de carregamentos em um ciclo, tempo do ciclo de carregamento, tempo da transportadora no ponto de carregamento, tempo de viagem da transportadora, tempo de despejo de material da transportadora, e por fim, a distância do transporte.

Para se estimar a eficiência da frota, utilizou-se da teoria convencional de que a capacidade de cada transportadora determinará a produção total, e que essa aumentará linearmente com a quantidade de transportadoras até que a capacidade de produção da carregadeira seja atingida.



O Fator de Correspondência (FC) representa a indicação do tamanho da frota de caminhões adequado, usado para determinar a eficiência da frota. O Fator de Correspondência, desenvolvido por Mogan e Peterson (apud KIM; BAI 2015) estima a quantidade apropriada de do número de transportadoras e de carregadeiras e é dado pela equação 16:

$$FC = \frac{\text{Número de Transportadoras} \times \text{Tempo de ciclo da Carregadeira}}{\text{Número de Carregadeiras} \times \text{Tempo de ciclo da Transportadora}} \quad (16)$$

Fonte: traduzido de Kim e Bai (2015)

Quando o Fator de Correspondência for igual a 1, tem-se a operação como em condição ideal para se estabelecer o número de maquinário e de tempo de ciclo. Se FC for menor que 1, a indicação é de que temos menos unidades de transporte empregadas que o número ideal. Se FC for maior que 1, indica-se que foram empregados mais transportadoras que o necessário para a operação, portanto, se  $FC > 1$ , não se tem aumento na eficiência global.

De acordo com Kim e Bai (2015), baseado nos dados obtidos, uma operação de terraplanagem poderia apresentar três diferentes níveis de produtividade, sendo elas produtividade máxima, possível produtividade e produtividade real. A possível produtividade possui dependência na produção da carregadeira, a produtividade real depende da produção das transportadoras e a produtividade máxima pode ser calculada pela equação 17:

$$P_{max} = \text{Taxa do ciclo de carregamento} \left( \frac{\text{carregamentos}}{10 \text{ horas}} \right) \times \text{Volume de carregamento por ciclo} (m^3) \quad (17)$$

Fonte: traduzido de Kim e Bai (2015)

A equação 18 representa o quadro quando o número de transportadoras for insuficiente para manter a carregadeira trabalhando, a possível produtividade será menor que a máxima.

$$\begin{aligned} P_{possível} &= P_{máx} \times FC \text{ para } FC < 1 \\ P_{possível} &= P_{máx} \text{ para } FC > 1 \end{aligned} \quad (18)$$

Fonte: traduzido de Smith (1999)

Produtividade real é determinada pela equação 19:

$$Preal = Taxa\ de\ ciclo\ da\ transportadora\ \left(\frac{ciclos}{10\ horas}\right) \times \\ Volume\ carregado\ (m^3) \quad (19)$$

Fonte: traduzido de Smith (1999)

Através dos cálculos acima apresentados, o fator de grupo é definido através da equação 20

$$Fator\ de\ Grupo = \frac{Preal}{Ppossível} \quad (20)$$

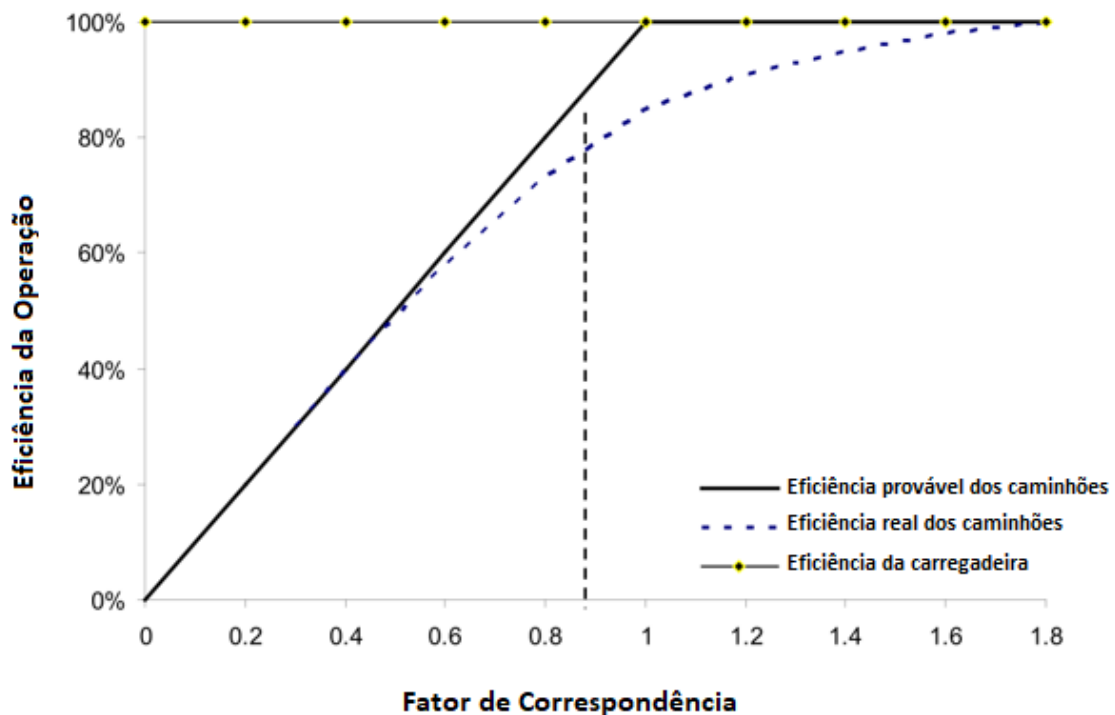
Fonte: traduzido de Smith (1999)

Muitas empreiteiras consideram o fator de grupo como uma medida válida para a produtividade em terraplanagem devido à relação existente entre carregadeira e transportadoras no sistema, por exemplo, se a carregadeira atrasar o ciclo de uma transportadora, esse atraso irá afetar a fila ou o tempo de ciclo da frota (KIM; BAI, 2015). Por outro lado, segundo Smith (1999), o modelo de regressão para agrupamento não é eficiente, uma vez que o fator de agrupamento não apresenta comportamento linear e caracteriza-se por ser função de muitos e variantes fatores.

Apesar disso, em seu estudo, Smith (1999) apresenta que o modelo de regressão para a produtividade em terraplanagem gera uma estimativa realista para os resultados de escavadoras e transportadoras em estudos de terraplanagem, tendo a capacidade de descrever mais de 90% da variabilidade em uma larga escala de dados obtidos de diferentes fontes.

De acordo com a Figura 3, pode-se observar que a possível produtividade para as transportadoras chega a 100% quando o FC é igual ou superior a 1. Porém, a eficiência da operação não segue a mesma regra, visto que o FC para que se obtenha uma eficiência de 100% na operação é de 1.8 já que a eficiência aumenta com o número de transportadoras. Mesmo que a eficiência atinja 100%, ela não é considerada ótima pelo fato de que transportadoras adicionais são mais custosas que o lucro que geram (SMITH, 1999). Estudos indicam que as frotas de custo ótimo podem ter eficiência próxima dos 50% (JING; TANG; QIAN, 2008).

Figura 3 – Fator de Correspondência vs. Eficiência da Operação



Fonte: Adaptado pelo autor (Smith, 1999)

Através do modelo de múltipla regressão linear desenvolvido e que não será detalhado neste trabalho, pois o foco é apenas identificar os fatores impactantes na etapa de terraplanagem, Kim e Bai (2015) concluíram que os fatores influentes para a movimentação de terras urbana são o fator de correspondência, o número de carregamentos, e o tempo do ciclo de carregamento por caçamba. Como fatores influentes dentro do canteiro, destacaram-se o número de caminhões, o fator de correspondência, o tempo de viagem, e a distância de transporte, enquanto que os influentes fora do canteiro foram o tempo de partida e o tempo de viagem.

Alguns outros aspectos podem ser levados em conta quando tratada a etapa de terraplanagem, como a limitação de espaço, a qual irá influenciar significativamente o fator de correspondência, uma vez que a restrição de espaço dificulta o aumento do número de equipamentos de transporte. A quantidade “ótima” de equipamentos, variáveis da área de projeto, espaço de trabalho, tráfego e a habilidade de gestão do executante, ainda são fatores que podem ser considerados relevantes.

Em decorrência das características da atividade de terraplanagem, a desenvoltura e o planejamento dessa atividade são muito relacionados à experiência e habilidade das pessoas envolvidas com a mesma (SCHAUFELBERGER, 1999). O retrabalho, muitas vezes causado por erros dessas partes envolvidas, é custoso e improdutivo.

Precisão é algo imprescindível quando se trata da estimativa de custos e taxas de produção em movimentação de terras, a fim de se obter um nível elevado na performance dos equipamentos e na eficiência dos custos. Tais estimativas, dependem fortemente do conhecimento humano e na experiência na etapa de movimentação de terras (CHRISTIAN; XIE, 1996).

Um método desenvolvido posteriormente, permite, através do uso de tecnologia de controle digital, que os equipamentos de terraplanagem apresentem um ganho em eficiência e segurança. Segundo Krishnamurthy *et al.* (1998), a tecnologia do *Global Positioning System* (GPS) têm mudado o método convencional de trabalho em movimentação de terras.

O método convencional funciona guiado por estacas posicionadas que orientam o operador por meio de uma linha guia visual. Segundo Han, Lee e Halpin (2005), é muito comum essas estacas serem derrubadas durante o processo de movimentação, então sendo necessário o reposicionamento das mesmas. Atrasos são gerados devido ao reposicionamento, pois o operador deve suspender o trabalho enquanto é feita a inspeção e a estaca é reposicionada. Muitas vezes esse controle de reposicionamento de estacas não é realizado, causando desvios na linha de corte e conseqüentemente gerando futuros retrabalhos. Por outro lado, o método convencional ainda pode ser considerado eficiente para projeto de pequeno porte, ou curta duração, os quais não teriam condições de arcar com os custos iniciais do sistema guiado por GPS.

Ao contrário do sistema convencional que é dependente da eficiência do estaqueamento para a realização da operação, o sistema de GPS possibilita o trabalho de estaqueamento por meio de combinações de posicionamento GPS em tempo real e modelos de gráficos 3-D. O sistema de GPS funciona através de um receptor de sinal e uma antena que são montados no equipamento e transferem os dados para um computador instalado. A transmissão de sinais mostra em tempo real o posicionamento do equipamento alvo em um mapa gráfico. Com a função de se saber a posição e volume de solo movido em tempo real, os operadores são guiados por meio do monitoramento do progresso do equipamento (KOEHRSEN *et al.* 2001). Pelo fato de os modelos em 3-D gerados poderem ser atualizados em tempo real, o sistema providencia uma maior eficiência, economizando mão-de-obra e aumentando a precisão do trabalho. Os resultados mostram que em projetos que possuem curtas distâncias de transporte, a produtividade por ser aumentada em 21,74% e os custos diminuídos em 12,92% com a adoção do método por GPS. Já em projetos com longas distâncias, o aumento na produtividade pode aumentar em torno de 5,67% e os custos diminuídos em 4,79% (HAN *et al.*, 2006).

### 2.9.3 FUNDAÇÕES

Por definição, segundo Aoki-Veloso (1975), a estrutura de fundação é aquela que, posicionada abaixo da superestrutura, tem a função de suportar e transferir para o subsolo as solicitações em geral que venham a surgir com a utilização da estrutura, garantindo segurança. Uma vez que existem diversas soluções no mercado para a subestrutura, cabe ao projetista saber qual a melhor opção para cada projeto. Todo projeto de estrutura que se apoia em terra deve ser auxiliado por um elemento chamado de fundação, sendo essa, a parte do sistema que irá transmitir para o subsolo ou camada rochosa, os carregamentos suportados por ela, além de seu peso próprio, fazendo com que o solo, além do carregamento que já possuía anteriormente (exceto nas camadas superficiais) receba esse adicional transmitido pela fundação. Para se descrever a parte da estrutura que irá transmitir o carregamento, geralmente é utilizado o termo superestrutura, e para a parte que irá receber esse carregamento, a fundação, é utilizado subestrutura. Baseado nessa definição, fica claro que a fundação é uma das partes mais importantes de um projeto (BOWLES, 1997).

O projetista dispõe, para elaboração do projeto de fundações, de principalmente dois aspectos principais, sendo o primeiro as análises do solo, como o SPT (*Standard Penetration Test*) que é o ensaio mais comum para obras de edificações de porte pequeno e médio, e segundo as cargas que serão transferidas para o solo pela estrutura. Contudo, por necessitar da arquitetura e superestruturas já definidas, dentre os projetos que estão ligados à estrutura, o projeto de fundações é o último a ser feito (DÉCOURT; QUARESMA, 1982).

A escolha do tipo de fundação mais adequado para cada caso tem influência em diversos fatores, como se fosse uma questão de tentativa e erro, deve-se escolher a alternativa tecnicamente viável e que seja econômica. Todavia, cada região possui características peculiares de solo, fazendo com que uma possível solução para um local, não tenha a mesma eficácia em outros (DÉCOURT; QUARESMA, 1982).

Existem diversos pontos cruciais a serem analisados a fim de se definir a melhor solução de fundação para uma edificação, dentre eles as características do subsolo e a tipologia da edificação, que irá determinar a capacidade de carga do elemento de fundação através de dados de carga que deverão ser descarregadas pelos mesmos. Além dos pontos apresentados, tem-se o fator disponibilidade de mercado onde leva-se em consideração custo de mobilização dos equipamentos e o fator vizinhança, que pode tornar inviável alguns tipos de fundações devido a ruídos ou vibrações (BORGES, 2012).

Devido ao fato de que muitas fundações não podem ser aplicadas em locais com presença de água, o nível do lençol freático é outro fator a ser relevado. Em relação às características da área, a presença de cortes e aterros, bem como faixas do solo que apresentam lixões ou matacões em sua composição devem ser considerados.

Mesmo analisando todos os pontos anteriormente listados e sendo descartadas algumas hipóteses de solução em fundações, ainda haverá uma gama muito grande de opções que irão suprir satisfatoriamente o propósito do projeto. Portanto, cabe ao projetista a análise das possíveis opções e decidir qual será utilizada.

Em se tratando de escolher a fundação de uma maneira econômica e tecnicamente satisfatória, Borges (2012) aponta uma ordem de tentativas a serem consideradas, as quais partem das tentativas mais econômicas, sendo essas, as classes de fundações superficiais (sapatas e radiers). As fundações rasas são caracterizadas por serem mais baratas que as fundações profundas, porém possuem um limite de carga inferior. Dependendo do caso, pode-se utilizar fundações rasas melhorando as características do solo por meio de compactação.

Em outros eventos, as fundações superficiais podem não apresentar capacidade para suportar as solicitações impostas, sendo necessária a utilização de fundações profundas. Dentro da categoria de fundações profundas, também se encontram diversos tipos e custos, sendo cada uma com uma característica diferente em relação à barulho, vibração, prazo, entre outros. Algumas soluções que eram consideradas avançadas e custosas antigamente, como a estaca hélice-contínua, hoje já possuem grande expressão no mercado por apresentarem rapidez de execução e redução de custos (BORGES, 2012).

De acordo com Bowles (1997), alguns requisitos mínimos deveriam ser seguidos para se projetar uma fundação, sendo eles:

- a) Locação do terreno e posicionamento do carregamento. Geralmente é fornecida pelo cliente ou feita internamente uma estimativa das cargas de fundação. Em casos complexos, uma pesquisa na bibliografia pode ser necessária a fim de analisar possíveis soluções para casos parecidos.
- b) A análise de evidências geológicas ou qualquer outra que possa dar uma diretriz para elaboração ou recomendação de projeto por meio de inspeção física complementada com dados do solo previamente obtidos é válida.
- c) Estabelecimento de um programa de exploração de campo, suplementando esses dados descobertos na fase inicial com testes em campo ou qualquer programa de teste em laboratório.

- d) Com base na junção de dados teste, experiências de engenharia e princípios científicos, determinar os parâmetros fundamentais de projeto de solo, podendo utilizar o auxílio ou não de análises computacionais simples ou complexas. Novamente, em casos de complexidade, uma revisão na bibliografia ou contato com um consultor geotécnico pode ajudar na resolução.
- e) Utilizando os dados levantados na etapa anterior, fazer o projeto de fundação de um modo que seja possível sua construção pelos trabalhadores disponíveis e que seja razoavelmente econômica. Restrições práticas de campo bem como as práticas de construção locais devem ser levadas em consideração. Motivar a interação entre as partes envolvidas no projeto (cliente, engenheiros, arquitetos, contratante) para que o sistema não apresente considerações excessivas, mas que o risco se conserve dentro dos padrões aceitáveis.

Segundo Bowles (1997), o recomendado seria que o engenheiro de fundações participasse ativamente em todas as 5 etapas descritas acima, porém na prática, não é isso que ocorre. O comum de se ocorrer é uma empresa de geotecnia independente e especializada em exploração e testes de solo, projetos de aterros, controle de poluição de água, entre outras atividades, executar as etapas de “a” a “d”, sendo então, o resultado da etapa “d” entregue ao cliente que usualmente seria um engenheiro especializado em elementos estruturais de fundação. O ponto negativo dessa abordagem, é a propensão em se tratar os parâmetros de projeto do solo (os quais são obtidos por meio de teste de solo com variável qualidade, e que são complementados com avaliações de engenharia) como dados imutáveis e precisos. Dessa forma, deve-se manter um contato entre o engenheiro de fundações e o consultor geotécnico durante todo o processo, trabalhando em conjunto.

Um grande fator que atrapalha na hora da projeção de uma estrutura de fundação é o fato de os parâmetros do solo serem obtidos antes mesmo do início do projeto. No momento em que a fundação for posicionada, seja a partir do processo de construção ou da instalação da fundação, é possível que a mesma se encontre em um solo com propriedades que mudaram consideravelmente após a consideração inicial. Em outras palavras, o ato de se trabalhar com o solo, seja escavando, compactando, substituindo-o, tende a diminuir a carga do solo, permitindo com que o solo subjacente se expanda, além de o fato de que o cravamento de estacas torna o solo mais denso. A modificação dos parâmetros do solo por ocorrer por qualquer uma dessas atividades (BOWLES, 1997).

É notório que, durante o desenvolvimento dessa parte do projeto, a prática do conservadorismo é muito presente, devido ao fato das incertezas no carregamento, nas

propriedades do solo, na consideração das variabilidades e entre outros fatores. Por se tratar da parte mais importante e com maior dificuldade de se resolver qualquer problema que possa futuramente surgir, o conservadorismo na hora de se projetar a fundação é considerado como apresentando um ganho maior no quesito investimento quando comparado à outras etapas do projeto (BOWLES, 1997).

O conservadorismo no projeto indica a ideia de que duas empresas diferentes muito dificilmente resultarão nos mesmos parâmetros de solo levantados e projeto final de fundação. Por outro lado, é uma questão de ética o quanto pode ser considerado conservador, a menos que seja do interesse do cliente optar por uma alternativa que suprirá seus interesses.

No geral, Bowles (1997), indica alguns aspectos para uma boa elaboração de projeto de fundações, sendo eles

- a) Determinação da finalidade da obra, provável carregamento durante a vida útil, perfil do solo, tipo de estrutura, custos e métodos de construção.
- b) Determinação dos interesses do cliente ou proprietário.
- c) Projetar de modo que possua uma margem de segurança, seja para o público, para o engenheiro ou o para o proprietário, garantindo preservação do ambiente.



### 3 METODOLOGIA

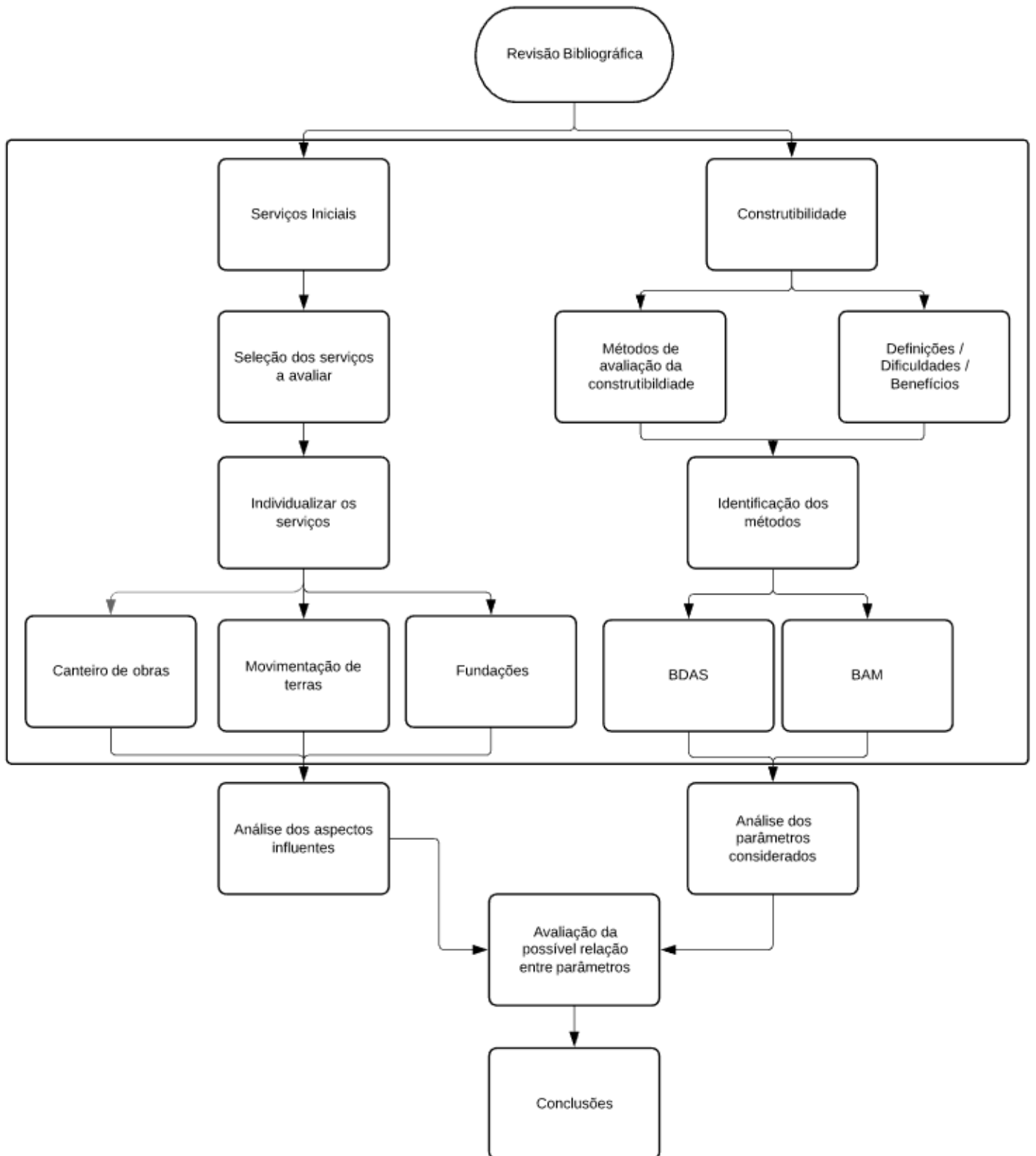
Dentre os grupos de pesquisa, é possível destacar a pesquisa quantitativa e a qualitativa. Cada tipo de questões de pesquisa exige diferentes estratégias (BRYMAN, 2001). A presente pesquisa pode ser caracterizada como qualitativa.

Segundo Miles e Huberman (1994) os dados qualitativos resultam em explicações e descrições bem embasadas e ricas de processos, em contextos identificáveis. Segundo os referidos autores, bons dados qualitativos podem embasar a criação ou revisão de teorias, obtendo resultados inesperados. Os pontos fortes dos dados qualitativos são sua riqueza e holismo, com forte potencial para revelar complexidade.

Estudos qualitativos são flexíveis e considerados a melhor estratégia para descobertas e exploração de novas áreas. Além disso, também são úteis para embasar, validar, explicar, esclarecer ou reinterpretar dados quantitativos de uma mesma amostra. Os pontos fortes de dados qualitativos dependem da qualidade da análise (MILES, HUBERMAN, 1994).

No fluxograma representado pela Figura 4, estão representadas as etapas da metodologia realizadas neste trabalho.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Como método para o desenvolvimento do presente trabalho, foi realizada uma revisão abrangente, onde buscou-se um amplo conhecimento por meio de diversas bibliografias a respeito de todos os tópicos abordados, não apenas na literatura brasileira, como principalmente na internacional, onde o tema é mais discutido. Foram consultados, como base, o repositório da UFSC e de outras universidades, além do Infohab, Scopus, Science Direct, Web of Science, entre outros sites para busca.

Primeiramente, através de um *brainstorming* de ideias com o grupo de pesquisa no qual este trabalho está inserido, além de consultas em outras bibliografias e fontes, buscou-se um aprofundamento no principal tema abordado, o de construtibilidade, abordando qual a origem do conceito e qual o motivo do surgimento do estudo de tal tema, apresentando os diversos conceitos de cada país. Além disso foi abordada a diferença entre os conceitos de *Buildability* e *Constructability*, os quais são duas vertentes existentes para o mesmo tema.

Depois de definido o conceito de construtibilidade, apresentou-se por meio dos princípios de variados autores e instituições, quais seriam as diretrizes de construtibilidade a serem seguidas para se obter uma melhoria na construtibilidade dos empreendimentos, a fim de se obter os diversos benefícios da aplicação do tema, os quais também foram abordados pela visão de alguns autores. Foram apresentadas também, quais as dificuldades da implantação das diretrizes de construtibilidade nos empreendimentos, não apenas durante a fase de concepção de projeto, como no decorrer da obra em geral, abordando tanto as barreiras ideológicas quanto as práticas, seja envolvendo a equipe ou até mesmo a tecnologia utilizada pelo empreendimento.

Após definida a ideia de construtibilidade, seus benefícios e dificuldades de implantação, foram abordados os métodos de avaliação da construtibilidade, onde cada um, com suas características, apresenta um roteiro de quantificação da construtibilidade de projetos, a fim de se caracterizar um projeto como sendo mais ou menos “construtível”. Foram escolhidos para serem explicados em detalhes, os métodos BDAS (*Buildability Design Appraisal System*) e BAM (*Buildability Assessment Model*) por serem os mais representativos na literatura.

O método de quantificação utilizado pelo BDAS, através de seu *Code of Practice* foi então abordado e explicado com detalhes, apresentando as tabelas necessárias, retiradas e traduzidas do documento original, a fim de se entender quais foram os parâmetros considerados por esse método para se chegar a uma quantificação final da construtibilidade de um projeto.

A fim de apresentar (de forma que permitisse comparação) mais de um método para análise, com o objetivo de tornar o trabalho mais completo, a mesma medida foi adotada para o BAM, onde seu método para quantificação da construtibilidade de projeto foi detalhada,

novamente apresentando as tabelas originais, traduzindo-as, e levantando quais os aspectos considerados pelo método para a quantificação da pontuação final de projeto.

Depois de levantados os parâmetros considerados por ambos os métodos apresentados, procurou-se entender por que motivos algumas fases dos empreendimentos de construção civil não eram consideradas na quantificação da construtibilidade, sendo apenas abordadas aquelas posteriores às fases de supraestrutura. Primeiramente, foram identificadas quais seriam as etapas não consideradas, sendo elas tratadas no presente trabalho como as etapas preliminares. Buscou-se abordar aquelas que teriam certa relevância e impacto em um empreendimento quando relacionadas ao tema construtibilidade, sendo os fatores custo e tempo considerados como os principais fatores para tal escolha, pois representam de uma maneira confiável a importância de tais etapas dentro de um projeto.

Dentre as etapas levantadas, as escolhidas para serem abordadas pelo trabalho foram a de canteiro de obras, a de movimentação de terras e a de fundações. Por não apresentarem um grande número de estudos relacionando tais etapas com o tema de construtibilidade, as mesmas foram abordadas de maneira separada ao tema, buscando-se formas de se pesquisar sobre suas características de modo que se pudesse relacionar com o conceito de construtibilidade. As pesquisas foram abordadas então utilizando-se palavras-chave que tivessem alguma relação com o tema, como custo, produtividade, segurança, repetição, padronização entre outras.

A fim de se entender a questão do porquê de as etapas preliminares não terem sido consideradas pelos métodos, foram então tratadas as etapas individualmente, de modo que para cada uma fossem levantados os aspectos mais relevantes que poderiam ser considerados ou até mesmo aqueles que não influenciariam quando se almeja uma melhor produtividade, diminuição de custos, aumento da segurança, ou aumento na facilidade de execução, e que pudessem ser relacionados à um método de avaliação de construtibilidade.

Através de estudos da bibliografia de diversos autores, que realizaram pesquisas, entrevistas e questionários com profissionais e atuantes nas respectivas áreas abordadas, foram levantados alguns aspectos que são importantes e que têm certa influência nas etapas individualmente.

Depois de analisadas as características consideradas em ambos os métodos selecionados e após o levantamento dos aspectos influentes em cada uma das etapas, foi possível realizar uma análise comparativa para se entender o motivo pelo qual tais etapas foram excluídas de consideração quando quantificada a construtibilidade de projetos.

Para efetuar a análise qualitativa, foram elaborados quadros de análise, como sugerido por Mutti (2008). Nesses quadros foram individuados os aspectos de construtibilidade abordados na literatura, bem como os aspectos influentes encontrados nas etapas analisadas. Tais quadros permitiram a visualização e realização da análise cruzada, e a extração de conclusões. A análise das variáveis será mais profundamente discutida no capítulo de análise a seguir.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo trata da análise e elucidação da discussão levantada durante o desenvolvimento do trabalho: por que na análise da construtibilidade de projetos, os métodos não consideram as etapas preliminares?

Verificou-se, através do estudo, que quando pesquisados os temas de maneira conjunta, muito dificilmente se encontra uma bibliografia em que se englobam os serviços iniciais relacionados diretamente aos conceitos de construtibilidade, sendo que o que pode ser encontrado, não se trata de estudos publicados recentemente, levantando a possibilidade de tal vertente desse tema ter sido deixada de lado por algum motivo. Mesmo Reunido Unido, Estados Unidos e Austrália, que foram os pioneiros nos estudos sobre construtibilidade, observam uma desaceleração no desenvolvimento do tema em seus países, apenas analisando-se certo progresso e constante abordagem do tema em países asiáticos como Singapura, onde o método do BDAS é atualmente aplicado.

Pode-se observar que os estudos atuais giram em torno dos métodos publicados, ficando de lado então os parâmetros que não antes foram considerados, e que passaram de certa forma a serem esquecidos, tentando-se de certa maneira focar no desenvolvimento dos métodos existentes para que possam ser melhor e mais corretamente aplicados, assim como o BAM baseou-se no BDAS sugerindo o acréscimo de alguns novos parâmetros.

O enfoque do tema em torno dos métodos de análise de construtibilidade pode ser relacionado com a complexidade em se tratar certos aspectos de um empreendimento. Quando observados os parâmetros considerados nos métodos apresentados neste trabalho, pode-se observar que, tanto na fase de estruturas, quanto na de vedações, de tecnologias e aspectos construtivos, foi notada uma espécie de catálogo de onde podem ser retiradas as opções de projeto que mais se adequam a cada empreendimento. Como exemplo, em se tratando de um sistema de estruturas, quando se elabora um projeto para tal sistema, naturalmente já pode-se imaginar diversas opções para tal, tanto concreto armado, como estrutura metálica, ou diversos métodos construtivos (como os pré-moldados), os quais são fortemente recomendados pelos métodos como já citados anteriormente; ou ao se analisar o sistema de paredes, existem as mais diversas opções, entre eles o dry wall, paredes de concreto, painéis, blocos de alvenaria, entre outros.

Mantendo-se a linha de raciocínio, o mesmo não ocorre para os serviços iniciais abordados durante o trabalho. Quando se imagina um projeto de canteiro de obras, por exemplo,

não se observa a presença de tal catálogo para que se possa escolher a melhor opção, ou aquela que seja visivelmente mais executável e que garantiria uma melhor construtibilidade para o empreendimento. Isso acontece porque um aspecto crucial na etapa do canteiro é o planejamento do mesmo, onde são considerados os acessos, tanto de equipamentos quanto de trabalhadores, a localização das instalações, de modo que se apresente a menor distância de viagem durante a execução das operações, a fim de reduzir o gasto em energia e tempo. Existe também a consideração das mudanças que ocorrem no decorrer do cronograma da obra. Assim, essas mudanças tornam-se um fator que não se analisa apenas na fase de projeto, mas durante toda a fase de execução.

O mesmo ocorre para a fase de movimentação de terras. Em uma etapa onde a experiência e prática da equipe são extremamente relevantes, não se tem a facilidade de afirmação que tal método ou tal equipamento garantirá uma melhor produtividade ou redução de custo, aumento de segurança, ou facilidade de execução. Novamente, o que pode ser considerado é o planejamento de tal etapa, onde a redução da distância de carregamento e bota-fora tende a ser reduzida, e de forma que tal operação seja executada com a frota mais produtiva possível, dependendo novamente, da experiência de quem executa tal tarefa. Tais fatos ocorrem devido a essas etapas apresentarem características individuais para cada empreendimento, cada obra contando com um tamanho e forma de canteiro diferente, com volumes de terra a serem movimentados variando amplamente, disponibilidade de espaço para manobras de equipamentos limitadas, e solos apresentando características muito diversificadas, onde diversas variáveis têm de ser analisadas e muitas vezes as mesmas sendo complexas.

Dentre as etapas abordadas durante este trabalho, aquela na qual mais se poderia observar a presença de uma lista de opções a serem adotadas, onde se poderia dizer que se existe um catálogo para uso, seria na etapa de fundações. Nessa etapa, os mais diversos tipos de estacas poderiam ser considerados, tendo-se a opção de fundações rasas e profundas, e dentro de cada tópico, a presença de diferentes opções para uso. Por outro lado, apenas o fato de se existir a presença de tal catálogo, não é suficiente para se considerar análogo a um sistema de estruturas por exemplo, pelo simples fato de que, apesar de existirem sim, diversas opções de escolha, não são todas que se adequariam ao projeto.

Quando se trata do sistema mais defendido pelos métodos, que é o de pré-moldados, não se observa um parâmetro claro dentro de um empreendimento que caracterizaria o impedimento do uso de tal técnica, sendo tal análise válida para as mais diversas opções consideradas pelos métodos apresentados e que podem ser observadas nas tabelas de pontuação de construtibilidade. Tanto sistema estrutural, quanto de paredes, acabamento, telhado, pisos,

forros e outros considerados, não apresentam tanta dependência de fatores externos quanto os sistemas em estudo nesse trabalho. Já quando considerada a etapa de fundações, por exemplo, são diversas as dependências ao se escolher o método ou tipo de estaca, sendo o tipo de solo um grande influente, a presença de água, dificuldade de execução, presença de vizinhança, e diversos outros fatores. Esses fatores fazem com que, aquele catálogo anteriormente citado, possa vir a ter seu número de opções severamente diminuído, não dando liberdade ao projetista de optar pelo método que apresente de fato a melhor construtibilidade.

O mesmo é válido para a etapa de canteiro de obras, onde não seria possível se estabelecer um *ranking* de opções com maiores e menores pontuações de construtibilidade, uma vez que cada canteiro é diferente um do outro, variando de empreendimento para empreendimento. Mesmo que se pudessem observar alguns aspectos em comum em diversos canteiros para que se pudesse levantar essa pontuação, possivelmente não seria uma técnica eficaz para tal etapa, visto que o canteiro de obras de um empreendimento em geral sofre constante mudança, sendo eventualmente modificado durante o andamento da obra. Ou seja, ao se analisar a construtibilidade de um canteiro de obras pelo seu projeto, é bem provável que tal projeto, ao final do cronograma de obra, já tenha sofrido diversas alterações, tornando tal pontuação, anteriormente levantada pelo que havia sido considerado, não mais válida ou então não sendo consideravelmente precisa.

Tendo em vista os aspectos acima considerados, assim como mostra o Quadro 11, fica claro que os serviços iniciais apresentam uma característica com caráter mais complexo quando comparados às etapas consideradas nos métodos de quantificação de construtibilidade, exigindo um olhar mais global e mais crítico em suas considerações, onde não apenas um sistema a ser utilizado para tal deve ser analisado, mas também todos os outros aspectos que podem influenciar nessa decisão. Por tais características, os ideais de quantificação utilizados pelos métodos BDAS e BAM não poderiam ser precisamente aplicados de forma eficiente, uma vez que a quantificação dos fatores influentes nas etapas preliminares abordadas não apresentam um parâmetro direto onde seria possível se analisar quantitativamente as medidas adotadas em cada uma de uma forma simplificada, justamente sendo a simplicidade um dos motivos pelo BDAS ser aplicado atualmente.



Quadro 11 - Análise dos fatores nas etapas preliminares

ETAPAS PRELIMINARES	LAYOUT DE CANTEIRO	MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS	FUNDAÇÕES
Aspectos abordados na literatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtividade</li> <li>• Segurança</li> <li>• Custo</li> <li>• Tempo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtividade</li> <li>• Experiência Profissional</li> <li>• Custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiência Profissional</li> <li>• Custo</li> <li>• Tempo</li> </ul>
Aspectos Influentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimentação interna</li> <li>• Delimitações de terreno</li> <li>• Obstruções</li> <li>• Instalações</li> <li>• Acesso</li> <li>• Rotas de tráfego</li> <li>• Armazenamento de materiais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições climáticas</li> <li>• Características do solo</li> <li>• Situações inesperadas</li> <li>• Nº de carregamentos</li> <li>• Tempo de ciclo do carregamento</li> <li>• Tempo de viagem</li> <li>• Distância de transporte</li> <li>• Limitações de espaço</li> <li>• Experiência profissional</li> <li>• Habilidade do executante</li> <li>• Métodos utilizados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargas da estrutura</li> <li>• Características do solo</li> <li>• Tipologia da edificação</li> <li>• Presença de água</li> <li>• Presença de corte ou aterros</li> <li>• Experiência profissional</li> <li>• Mudança nos parâmetros do solo</li> <li>• Vizinhança</li> <li>• Barulho / ruído / vibração.</li> </ul>
Nível de dependência de outros fatores	Forte	Forte	Forte
Presença de uma lista de opções (Catálogo)	Não	Não	Sim
Nível de aplicabilidade do BDAS / BAM	Baixo	Baixo	Médio

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A partir do momento em que a análise de construtibilidade de um projeto passa a ser uma análise exaustiva, onde diversos parâmetros, muitas vezes complexos e interligados, devem ser considerados, a então já existente observação das barreiras da adoção de tais análises de construtibilidade apenas tende a aumentar, não sendo o caminho correto para o desenvolvimento do tema.

Uma vez que medidas para melhoria da construtibilidade não podem ser adotadas por questões de limitações externas, entra-se em uma nova questão, de quais considerações podem ser levantadas. Já que aspectos mais diretos não mais apresentam sua validade, como a adoção

de métodos que podem ser pontuados, uma solução seria uma visão menos pontual, de modo a se ampliar as fronteiras de consideração a respeito do tema construtibilidade.

De um modo em que se analisando um empreendimento no qual ainda não são adotadas medidas de construtibilidade, o que é perceptível em muitos casos, através da simples adoção de algumas diretrizes, ou consideração dos princípios de construtibilidade, como apresentado no Quadro 12, um avanço poderia ser notável.

Quadro 12 - Princípios de construtibilidade

ETAPAS PRELIMINARES	CANTEIRO DE OBRAS	MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS	FUNDAÇÕES
Princípios de construtibilidade	<p>Padronização de canteiros com características semelhantes</p> <p>Exemplo: Padronização de canteiro</p>	<p>Utilização da frota ótima para produtividade</p> <p>Exemplo: Uso de GPS para estaqueamento</p>	<p>Consideração dos fatores externos por meio da integração entre projeto e execução</p> <p>Exemplo: Melhor qualidade na sondagem</p>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Uma série de diretrizes e princípios foram apresentados anteriormente neste trabalho, podendo ser um aspecto a ser considerado na avaliação da construtibilidade de projetos, onde quanto mais diretrizes ou ideais fossem adotados por um projeto, mais construtível o mesmo seria, dessa vez não de uma forma quantitativa diretamente como nos métodos BDAS e BAM, mas de uma forma qualitativa. Como exemplo, pode-se pensar que a utilização de padronização para canteiros de obras, poderia facilitar a execução por parte de uma empresa que adote um determinado padrão de construção. Outro exemplo, seria a utilização do sistema de GPS para movimentação de terras, facilitando o processo de estaqueamento e diminuindo erros.

Posteriormente, uma série de diretrizes poderia ser analisada separadamente para cada etapa, em conjunto com experiências profissionais e atuantes da área, e pelo levantamento de análises de projetos já executados, onde a partir do momento em que se observe alguma limitação ou dificuldade por parte da adoção de algum sistema, ao invés do catálogo comum já

observado nos métodos BDAS e BAM, o que se teria seriam uma série de princípios que poderiam ser aplicados onde cada um teria um *ranking* de influência sobre cada etapa.

Por mais que os princípios de construtibilidade possam ser aplicados, seria um desafio quantificar as medidas adotadas, pois cada uma pode apresentar um impacto diferente sobre cada empreendimento. Uma vertente mais simplificada de análise seria a consideração dos princípios aplicados a um projeto em comparação com o mesmo projeto quando não aplicados ou quando forem considerados outros princípios. Haveria a necessidade de um estudo profundo e diversos testes a fim de se concluir se se poderia extrair um método eficiente e de fácil manuseio para tais etapas, mas que traria um grande avanço no quesito facilidade e diminuição de incertezas de um projeto de construção civil.

Uma outra medida que poderia ser adotada para se facilitar a análise de construtibilidade na etapas mais complexas, com diversos parâmetros variáveis, seria o remanejamento do parâmetros de avaliação, abordando uma outra visão do conceito do tema, onde pudessem ser considerados não só os métodos adotados, mas a relação entre eles e os fatores externos que os possam influenciar, de modo que seja considerado o fato de que alguns aspectos que fogem do controle do planejamento do empreendimento ou do projetista, podem apresentar grande impacto na possibilidade de escolhas por meio da equipe. Um exemplo, seria a presença de água no solo na etapa de fundações, uma vez que existem estacas que não permitem a cravação na presença de água, portanto, esse fato seria considerado.

Uma boa indicação de que dariam para ser considerados os princípios de construtibilidade, são os dois últimos parâmetros apresentados na análise feita pelo BAM: os fatores específicos de local e a pontuação bônus. Quando abordados os fatores específicos de local, aspectos levantados, como limite do perímetro do terreno, presença de obstruções, restrição de espaço para manobras, questões de segurança e outros, que quando analisados dessa forma, remetem aos aspectos considerados durante a etapa de canteiro de obras, mas que no entanto, não consideram a dependência de outros fatores e a possível mudança do projeto, como anteriormente discutido.

Outra indicação de que os princípios de construtibilidade têm seu espaço na análise de um projeto, é a pontuação bônus apresentada pelo BAM, onde as soluções que possam melhorar a construtibilidade de projeto e que não foram antes consideradas durante o método, passam a ser avaliadas por meio de declarações apresentadas pela equipe de projeto, onde tais declarações são avaliadas por uma equipe especializada e então, uma bonificação é somada ao restante da pontuação para se obter a pontuação de construtibilidade final.

Portanto, a ideia aqui sugerida para métodos futuros de análise da construtibilidade para etapas em que não é viável, ou então se torna muito complexa a análise qualitativa de forma direta, nada mais seria que um desenvolvimento global; no quesito consideração da etapa em geral, da técnica de quantificação da pontuação bônus do BAM, onde da mesma maneira em que para os outros aspectos, em que foram realizadas entrevistas e questionários com profissionais e atuantes da área, o mesmo procedimento seria realizado a fim de se criar uma base de dados a respeito das mais variadas soluções que poderiam ser aplicadas em cada etapa, podendo essas de alguma forma, serem posteriormente ranqueadas e quantificadas. Lembrando que um dos principais aspectos a serem considerados no desenvolvimento de novos métodos, seria a facilidade de uso do mesmo, pois esse seria o “gatilho” para a propagação do método e posteriormente desenvolvimento e aprimoramento do método.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÕES

A construtibilidade tem por definição a facilidade de construção, tendo seus benefícios abordados por diversos estudos sobre o tema. Alguns dos benefícios citados são o aumento da produtividade e qualidade da construção, redução de custos, maior segurança e melhor relação entre a equipe de trabalho.

Diversos princípios e diretrizes para aplicação da construtibilidade em projetos foram elaborados por autores e instituições de diversos países, de modo que quando considerados, se consiga uma melhor abordagem a respeito dos problemas de construtibilidade de um empreendimento.

Existem métodos que visam a análise da construtibilidade de forma quantitativa na literatura. Dois dos métodos foram selecionados para serem abordados por apresentarem maior relevância na literatura, o BDAS e o BAM. Ambos os métodos foram detalhados, sendo apresentados os parâmetros considerados em cada um para quantificação da construtibilidade final de projetos. Pela análise dos parâmetros de cada método, percebeu-se a ausência de algumas etapas preliminares de obras da construção civil em suas quantificações.

Dentre as etapas que não foram consideradas pelos métodos, três delas foram escolhidas para serem abordadas em decorrência de sua relevância e impacto dentro de um empreendimento, levando-se em consideração principalmente seu custo e tempo. As etapas abordadas foram: canteiro de obras, movimentação de terra e fundações.

Através do estudo de diversos autores da literatura sobre as etapas preliminares, foi possível fazer o levantamento dos aspectos influentes de cada uma separadamente, os quais geralmente foram levantados pelos seus autores através de entrevistas e questionários com profissionais e atuantes da área, mesmo procedimento utilizado para elaboração do método do BAM.

Após levantados os aspectos influentes em cada etapa, e analisados os parâmetros considerados nos métodos abordados, foi realizada uma análise qualitativa cruzada com o intuito de se estabelecer a relação entre etapas e métodos. Como resultado, observou-se que os métodos citados não poderiam ser aplicados de forma eficaz nas etapas preliminares abordadas, devido às características complexas e também dependentes de outras variáveis por parte dos parâmetros que influenciam tais serviços iniciais.

Embora os métodos do BAM e BDAS não apresentem aplicabilidade muito válida para as etapas preliminares, apontou-se que os princípios de construtibilidade ainda poderiam ser considerados, de modo que a aplicação dos princípios e diretrizes de construtibilidade podem aumentar a facilidade de construção de um empreendimento.

Além disso, foi sugerida a consideração de criação de uma espécie de banco de dados, contendo informações de profissionais e atuantes da área, a respeito das soluções que poderiam ser consideradas em cada etapa e analisadas de forma qualitativa, desenvolvendo de uma maneira mais profunda, o que é considerado como a pontuação bônus do BAM, mas mantendo a facilidade de uso, uma característica fundamental para métodos de análise de construtibilidade.

A construtibilidade de um empreendimento não apenas remete a pontuações para que se verifique uma validade. É válido ressaltar que as pontuações existentes nos métodos de avaliação, resultam de princípios de construtibilidade, e são utilizados como forma de “otimização” para se quantificar tal facilidade de construção. Portanto, a consideração de princípios e diretrizes, já caracteriza uma melhora na construtibilidade de um projeto, mesmo que de forma qualitativa.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, muitas áreas da construtibilidade ainda podem ser exploradas. Uma das sugestões seria a aplicação da proposta desse estudo em uma ou mais etapas abordadas, desenvolvendo o método de pontuação bônus do BAM através de entrevistas e questionários, criando um banco de dados com soluções relacionadas a cada etapa.

Uma outra possibilidade de estudo, seria o levantamento dos aspectos influentes das etapas preliminares e seus dependentes, apontando todos os aspectos que deveriam ser considerados para se analisar a construtibilidade, elaborando um método que consideraria tais dependências.

Também seria possível o estudo dos serviços iniciais restantes, que não foram considerados nesse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALLMON, E., Haas, C. T., BORCHERDING, J. D., & GOODRUM, P. M. **US construction labor productivity trends, 1970–1998**. Journal of construction engineering and management, 126(2), 97-104, 2000.
- ALZRAIEE, H.; MOSELHI, O.; ZAYED, T. **Full paper: Dynamic planning of earthmoving projects using system dynamics**. Gerontechnology, v. 11, n. 2, 2012.
- AMANCIO, Rosa Carolina Abrahão. **Identificação de fatores de construtibilidade que influenciam as fases do processo de projeto em pequenos escritórios de arquitetura**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil. 2010. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- AOKI, N.; VELLOSO, D.A. **Estimating Stresses and Settlements due to Deep foundations by the Theory of Elasticity**. In: Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 5, 1986, Porto Alegre. Anais... Buenos Aires, 1975, p3 377-386.
- ASCE. **Constructability and Constructability Programs: White Paper**. Journal of Construction Engineering and Management. 1991. Vol. 117, No. 1, p. 67–89.
- BANWELL, H. **The placing and management of building contract (The Banwell Report)**. 1964.
- BORGES, L. F. **Estudo de caso sobre fundações para edifícios em alvenaria estrutural**. p. 86, 2012.
- BOWLES, L. E. et al. **Foundation analysis and design**. McGraw-hill, 1996.
- BRYMAN, A. **Social Research Methods**. Oxford: Oxford University, 2001.
- BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. **Code of Practice on Buildable Design**. Singapura: Maio, 2017.
- CHEETHAM, David W.; LEWIS, John. **Productivity, buildability and constructability: is work study the missing link**. In: 17th Annual ARCOM Conference. Management, Manchester: University of Salford, Association of Researchers in Construction, 2001. p. 5-7.
- CHRISTIAN, J.; XIE, T. Xing. **More realistic intelligence in earthmoving estimates**. WIT Transactions on Information and Communication Technologies, v. 6, 1994.
- CHRISTIAN, John; XIE, Tian Xing. **Improving earthmoving estimating by more realistic knowledge**. Canadian Journal of Civil Engineering, v. 23, n. 1, p. 250-259, 1996.
- DÉCOURT, L; QUARESMA, A.R.; **Como calcular (rapidamente) a capacidade de carga limite de uma estaca**. Revista Construção, São Paulo, n1800, ago. 1982.

DELEGREGO, V. **Construtibilidade: lições internacionais e aplicações para o Brasil**. Tese de Graduação em Engenharia Civil. 2017. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

ELIAS, S. J. B.; LEITE, M. O.; SILVA, R. R. T. & LOPES, L. C. A. **Planejamento do Layout do canteiro de obras: aplicação do SLP (Systematic Layout Planning)**. In: Encontro Nacional de engenharia de Produção, XVIII, 1998, Niterói-RJ. Anais do XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

EMMERSON, H; EMMERSON, H C. **Survey of problems before the construction industries: Report prepared for the Minister of Works**. HM Stationery Office, 1962.

FRANCIS, V. E. et al. **Constructability strategy for improved project performance**. Architectural Science Review, v. 42, n. 2, p. 133-138, 1999.

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. São Paulo, 1992. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. **Noções de orçamento e planejamento de obras**. São Leopoldo: UNISINOS, 2008.

GREAT BRITAIN; BANWELL, Sir Harold. **The Placing and Management of Contracts for Building and Civil Engineering Work: Report of the Committee [on the Placing and Management of Contracts for Building and Civil Engineering Work]**. HM Stationery Office, 1964.

GRIFFITH, A. **Concept of Buildability**. In: Proceedings of the IABSE Workshop: Organisation of the Design Process. 1986.

GRIFFITH, A.; SIDWELL, A. C. **Development of constructability concepts, principles and practices**. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 1997. Vol. 4, No. 4, p. 295–310.

HAN, S. *et al.* **Simulation analysis of productivity variation by global positioning system (GPS) implementation in earthmoving operations**. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 33, n. 9, p. 1105–1114, 2006.

HAN, Seung-Woo; LEE, Sang-Youb; HALPIN, Daniel W. **Productivity evaluation of the conventional and GPS-based earthmoving systems using construction simulation**. In: Construction Research Congress. 2005. p. 178-182.



JERGEAS, G; PUT, J V der. **Benefits of constructability on construction projects**. Journal of Construction Engineering and management, v. 127, n. 4, p. 281-290, 2001.

JING, C.; TANG, G.; QIAN, X. **Heuristic algorithms for two machine re-entrant flow shop**. Theoretical Computer Science, v. 400, n. 1–3, p. 137–143, 2008.

KIM, S.; BAI, Y. **Earthmoving Productivity in Urban Bridge Construction**. Civil Engineering and Architecture, v. 3, n. 3, p. 48–55, 2015.

KOEHRSEN, Craig L.; SAHM, William C.; KEEFER, Claude W. **GPS-Based Earthmoving for Construction**. In: Digital Earth Moving. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. p. 4-17.

KRISHNAMURTHY, B. K. *et al.* **AutoPave: Towards an automated paving system for asphalt pavement compaction operations**. Automation in Construction, v. 8, n. 2, p. 165–180, 1998.

LAM, P. T. I.; WONG, F. W. H. **A comparative study of buildability perspectives between clients, consultants and contractors**. Construction Innovation. 2011. Vol. 11, No. 3, p. 305–320.

LAM, P. T. I.; WONG, F. W. H. **Implementing a Buildability Assessment Model for Buildability Improvement**. Architectural Science Review. 2008. Vol. 51, No. 2, p. 173-184.

MAESTRI, D. P. **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.

MAIA, M. A. M; HEINECK, L. F. M.; YUKI, M. M. Sistema de **Padronização para Execução de Edifícios com Participação dos Operários**. Revista Tecnologia, v. 15, n. 1, 1994.

MAWDESLEY, M. J.; AL-JIBOURI, S. H.; YANG, H. **Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 128, n. 5, p. 418–426, 2002.

MELHADO, Silvio B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

MILES, M. B.; HUBERMAN, M. A. **Qualitative data analysis: an expanded sourcebook**. 2 ed. Thousand Oaks: Sage, 1994.

MUTTI, C. N. **Guia prático para Trabalho de Conclusão de curso em construção civil: graduação e pós-graduação**. Ed. Secco. Florianópolis, 2008.

NEIL, J. M. **Teaching site layout for construction**. In: ASCE MEETING, 1980, Portland, OR Proceedings ... New York: ASCE, 1980. p. 1-11.

NING, X.; LAM, K. C.; LAM, M. C. K. **A decision-making system for construction site layout planning**. *Automation in Construction*, v. 20, n. 4, p. 459–473, 2011.

O'CONNOR, J. T., & Miller, S. J. **Barriers to constructability implementation**. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 1994. 8(2), 110-128.

O'CONNOR, James T.; RUSCH, Stephen E.; SCHULZ, Martin J. **Constructability concepts for engineering and procurement**. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 113, n. 2, p. 235-248, 1987.

PINI. **Tabelas de composições de preços para orçamentos**. São Paulo: PINI, 2012.

RAZAVIALAVI, S.; ABOURIZK, S. **Site Layout and Construction Plan Optimization Using an Integrated Genetic Algorithm Simulation Framework**. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 31, n. 4, p. 04017011, 2017.

RODRIGUES, Marilucy Butinholi. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção**. 2005. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

SANAD, Haytham M.; AMMAR, Mohammad A.; IBRAHIM, Moheeb E. **Optimal construction site layout considering safety and environmental aspects**. *Journal of construction engineering and management*, v. 134, n. 7, p. 536-544, 2008.

SANTOS, Aguinaldo dos. **Método de intervenção em obras de edificações enfocando o sistema de movimentação e armazenamento de materiais: um estudo de caso**. 1995.

SAURIN, T. A. **Método para diagnóstico e diretrizes para planejamento de canteiros de obra de edificações**. p. 158, 1997.

SCHAUFELBERGER, J. E. **Construction equipment management**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, Inc, 1999.

SILVA, Carlos Eduardo Sanches da; GUIMARÃES Susane Mauro. **A Importância da Construtibilidade na Gestão de Projeto da Construção Civil**. 2006.

SMITH, Simon D. **Earthmoving productivity estimation using linear regression techniques**. *Journal of construction engineering and management*, v. 125, n. 3, p. 133-141, 1999.

TATUM, Clyde B. Improving constructibility during conceptual planning. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 113, n. 2, p. 191-207, 1987.

TOMMELEIN, I. D. et al. **SightPlan experiments: Alternate strategies for site layout design**. Journal of Computing in Civil Engineering, v. 5, n. 1, p. 42-63, 1991.

WONG, Wing-hei. **Developing and implementing an empirical system for scoring buildability of designs in the Hong Kong construction industry**. 2007. Tese de Doutorado. The Hong Kong Polytechnic University. Hong Kong.

ZOLFAGHARIAN, Samaneh. **A knowledge-based BIM exchange model for constructability assessment of commercial building designs**. Tese de Doutorado. 2016. Georgia Institute of Technology. School of Building Construction. Atlanta.

## ANEXO A

Different parts of a building superstructure	Common construction systems	Priority Ratios (i.e. Buildability Indices)	Totals
Structural Frame	• Precast RC frame *	0.239	1.00
	• Structural steel with fireproofing *	0.210	
	• Insitu RC frame	0.194	
	• Insitu loadbearing cross-wall	0.181	
	• Steel encased in concrete *	0.176	
Slab	• Precast slab with insitu topping *	0.270	1.00
	• Steel deck with insitu concrete topping *	0.253	
	• Insitu RC slab	0.200	
	• Flat slab	0.176	
	• Prestressed concrete slab	0.101	
Envelope	• Precast concrete wall with pre-installed windows and finishes *	0.257	1.00
	• Curtain wall *	0.206	
	• Insitu concrete wall	0.179	
	• Pre-finished precast concrete formwork with insitu filling *	0.179	
	• Concrete block / brick	0.178	
Roof	• Precast concrete roof *	0.271	1.00
	• Steel decking with insitu concrete topping *	0.271	
	• Steel truss roof with composite decking *	0.238	
	• Insitu concrete roof	0.220	
Internal Wall	• Dry wall *	0.434	1.00
	• Concrete block / brick	0.317	
	• Insitu RC wall	0.249	

Legend: Buildability Indices represent the relative buildability of individual design elements under the Buildability Assessment Model. An Index of a higher value indicates better buildability when compared with another index with a lower value, assuming that construction is carried out by the same contractor.

\*NB: Where the site conditions render transportation and hoisting operations difficult or unsafe (e.g. extremely congested site surrounded by adjacent buildings), the respective Buildability Indices with an asterisk are each multiplied by a reduction factor 0.5.

**Table 6.3 Buildability Indices of common construction systems as derived by the AHP.**

## ANEXO B

### 5.1 Definition

“Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC)” means a construction method whereby free-standing volumetric modules (complete with finishes for walls, floors and ceilings) are —

- (a) constructed and assembled; or
- (b) manufactured and assembled,

in an accredited fabrication facility, in accordance with any accredited fabrication method, and then installed in a building under building works.

### 5.2 Requirements for Prefabricated Prefinished Volumetric Construction

For the purposes of Regulation 4B(4)(b) of the Building Control (Buildability and Productivity) Regulations, the volumetric modules used for PPVC shall comply with the following requirements:

#### Minimum level of finishing and fittings to be completed off-site

**5.2.1** The extent of finishing and fittings to be completed off-site for the volumetric modules shall comply with the minimum levels stipulated in Table 1. Where any deviation from these minimum levels is necessary, prior approval must be sought from BCA.

Element	Minimum level of completion off-site
<b>Floor finishes</b>	80%
<b>Wall finishes</b>	100%
<b>Painting</b>	100% base coat, only final coat is allowed on-site
<b>Window frame &amp; Glazing</b>	100%
<b>Doors</b>	100%, only door leaves allowed for on-site installation
<b>Wardrobe</b>	100%, only doors are allowed for on-site installation
<b>Cabinet</b>	100%, only doors are allowed for on-site installation
<b>M&amp;E including water &amp; sanitary pipes, electrical conduits &amp; ducting</b>	100%, only equipment to allowed for on-site installation
<b>Electrical sockets and light switches</b>	100%, only light fittings allowed for on-site installation

**Table 1 - Minimum level of finishing and fittings to be completed off-site**