



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFRAESTRUTURA E
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

HORÁCIO LIMA DA SILVA

**FERRAMENTA PARA MENSURAÇÃO DA CAPACIDADE TECNOLÓGICA NO SEGMENTO DE
CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**

Tucuruí-PA

2022

HORÁCIO LIMA DA SILVA

**FERRAMENTA PARA MENSURAÇÃO DA CAPACIDADE TECNOLÓGICA NO
SEGMENTO DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara

Tucuruí-PA
2022

L732f Lima da Silva, Horácio.
FERRAMENTA PARA MENSURAÇÃO DA
CAPACIDADE TECNOLÓGICA NO SÉGMENTO DE
CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS / Horácio Lima da Silva. —
2022.
143 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, Tucuruí, 2022.

1. Inovação Tecnológica, Subsetor Edificações.
Capacidade Tecnológica. Ferramenta de Mensuração..
I. Título.

CDD 624

HORÁCIO LIMA DA SILVA

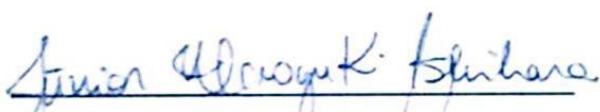
**FERRAMENTA PARA MENSURAÇÃO DA CAPACIDADE TECNOLÓGICA NO
SEGMENTO DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura.

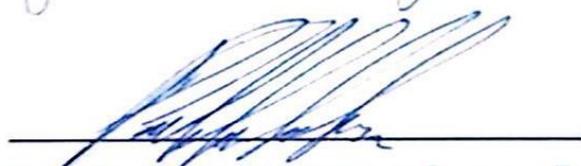
Orientador: Prof. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara

Aprovada em 17 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara – Orientador (PPGINDE/UFPA)



Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza – Examinador Interno (PPGINDE/UFPA)



Prof. Dr. Jose de Paula Barros Neto (PEC/UFC)

Dedico este trabalho aos meus
filhos, esposa, pais, irmã e sobrinhos.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a todas as pessoas que estiveram comigo em algum momento da minha vida e me motivaram e/ou contribuíram para o meu aprendizado. Destaco: minha esposa Mery Sandra, meus filhos (as) Eduarda Camille, Arthur e Aurora Donatella, que de todas as formas me inspiraram; meu pai Durval Silva, minha mãe Lauriete Silva e minha irmã Edcarla Silva, que me estimularam a explorar meu potencial; aos meus sobrinhos Erica Nayana e Enzo Ruan, fontes de encorajamento; aos meus professores, do ensino infantil ao ensino médio e da graduação ao mestrado, por todo o ensinamento; ao meu orientador Junior Hiroyuki Ishihara por acreditar na ideia deste trabalho, pela paciência e por tudo que tem me ensinado.

“Ciência, tecnologia e inovação é o
outro nome de soberania”

Ciro Ferreira Gomes

RESUMO

A inovação tecnológica é fundamental para potencializar o desempenho das organizações industriais com vistas a aquisição de vantagem competitiva. Atualmente a Indústria 4.0 é a síntese mais moderna do acúmulo de inovações, representando uma nova era da produção industrial. Apesar de sua importância, a construção civil ainda não está plenamente inserida nesse novo contexto industrial. O subsetor de construção de edifícios, por exemplo, se caracteriza predominantemente por um baixo nível tecnológico quando comparado à outras indústrias. Nesse sentido, é de suma importância o desenvolvimento de estudos que estabeleçam uma compreensão dos aspectos que levam a esse cenário de baixo nível tecnológico na construção civil. Por isso, este trabalho se baseou na teoria da acumulação de capacidades tecnológicas para desenvolver uma ferramenta, denominada neste trabalho de FMCTEED (Ferramenta para Mensuração da Capacidade Tecnológica em Empresas de Edificações), visando traçar o perfil tecnológico de empresas de construção de edifícios e compreender os aspectos que precisam ser potencializados nessas organizações para a superação do atraso tecnológico. Esta dissertação usou como metodologia a pesquisa bibliográfica, entrevistas com especialistas e modelagens matemáticas para construir uma ferramenta capaz de expressar a acumulação de capacidade tecnológica em empresas do subsetor edificações. Em um segundo momento, o modelo foi aplicado em empresas do subsetor edificações para análise do desempenho da ferramenta. Como resultado, o estudo demonstrou que as empresas objetos do estudo praticamente não possuem mecanismos de desenvolvimento CT&I; além disso, a pesquisa revelou uma imensa lacuna quanto à industrialização e robotização de processos; verificou-se ainda uma fragilidade no que tange a uma rede de colaboração que inclua universidades e centros de pesquisa para a produção de tecnologias passíveis de serem incoorporadas ao processo produtivo. Por fim, pode-se afirmar que a FMCTEED foi exitosa em estabelecer o perfil tecnológico das empresas estudadas e em elencar pontos críticos para intervenção com vistas, por exemplo, a implantação de inovações.

Palavras-chave: Inovação Tecnológica, Subsetor Edificações. Capacidade Tecnológica. Ferramenta de Mensuração.

ABSTRACT

Technological innovation is essential to enhance the performance of industrial organizations with a view to acquiring competitive advantage, as it adds improvements in products, processes and services. Currently, Industry 4.0 is the most modern synthesis of the accumulation of innovations, representing a new era of industrial production. Despite its importance, civil construction is not yet fully inserted in this new industrial context, especially when considering underdeveloped countries. The building construction subsector, for example, is predominantly characterized by a low technological level when compared to other industries. In this sense, it is extremely important to develop studies that establish an understanding of the aspects that lead to this scenario of low technological level in civil construction. Therefore, this work was based on the theory of accumulation of technological capabilities to develop a tool, called in this work FMCTEED (Tool for Measuring Technological Capability in Building Companies), aiming to trace the technological profile of building construction companies and understand the aspects that need to be enhanced in these organizations to overcome the technological backwardness. This dissertation used bibliographic research, interviews with experts and mathematical modeling as a methodology to build a tool capable of expressing the accumulation of technological capacity in companies in the buildings subsector. In a second step, the model was applied to companies in the buildings subsector to analyze the performance of the tool. As a result, the study showed that the companies object of the study practically do not have ST&I development mechanisms; in addition, the survey revealed a huge gap in industrialization and robotization of processes; there was also a weakness in terms of a collaborative network that includes universities and research centers for the production of technologies that can be incorporated into the production process. Finally, it can be said that FMCTEED was successful in establishing the technological profile of the companies studied and in listing critical points for intervention with a view, for example, to the implementation of innovations.

Keywords: Technological Innovation, Buildings Subsector. Technological Capacity. Measurement Tool.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases de mecanização	35
Figura 2 – Relação entre aprendizagem tecnológica e o processo de acumulação de CTs.....	43
Figura 3 – Arquitetura do índice de capacidade tecnológica.....	51
Figura 4 - Modelo de ciclo de aprendizagem tecnológica subjacente à acumulação de CT inovadoras.....	54
Figura 5 - Região Crítica para teste $H_1 \in RC$: é relevante.....	65
Figura 6 – Escala de comparação para preenchimento das matrizes de julgamento AHP.....	67
Figura 7 – Planilha de cálculo dos pesos do índice.....	69
Figura 8 - Arquitetura preliminar de acumulação de Capacidades Tecnológicas para o subsetor edificações.....	80
Figura 9 – Síntese do processo de construção da ferramenta.....	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Motores e estratégia de inovação para empresas de construção civil. ..	28
Quadro 2 – Produção de componentes de edifícios por robôs.	35
Quadro 3 - Modelo descritivo da capacidade tecnológica em economias emergentes.	47
Quadro 4 - Resumo das características dos sistemas de mensuração de CT encontrados na literatura.....	56
Quadro 5 – Escala de importância AHP.....	59
Quadro 6 – Etapas da pesquisa	62
Quadro 7 - Exemplo do processamento do questionário da Fase I.....	65
Quadro 8 – Perfil das empresas estudadas.	71
Quadro 9 – Perfis das variáveis que formam os indicadores.	72
Quadro 10 – Arquitetura proposta do índice de Capacidade Tecnológica (ICT)	74
Quadro 11 – Subgrupos e indicadores do grupo Sistema de Gestão.	75
Quadro 12 – Subgrupos e indicadores do grupo Estágio Tecnológico.....	76
Quadro 13 – Subgrupos e indicadores do grupo Desenvolvimento de CT&I.	77
Quadro 14 – Subgrupos e indicadores do grupo Rede de Colaboração.	78
Quadro 15 – Subgrupos e indicadores do grupo Aprendizagem.....	79
Quadro 16 - Classificação das variáveis da Fase I após a aplicação dos teste de hipóteses.....	82
Quadro 17 – Perfil das empresas participantes da pesquisa.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conjunto de pesos dos macroíndices.....	51
Tabela 2 – Índice de aleatoriedade (RI) para $n = 1 \dots 15$	68
Tabela 3 – Grau de importância de cada grupo de acordo com os pesos	83

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	65
Equação 2	66
Equação 3	66
Equação 4	68
Equação 5	68
Equação 6	68
Equação 7	70
Equação 8	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP – *Analytic Hierarchy Process*
BIM – *Building Information Modeling*
CIT – Capacidade de Inovação Tecnológica
CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNPq -
COMAER – Comando da Aeronáutica
CSN – Companhia Siderúrgica Nacional
C&T – Ciência e Tecnologia
CT – Capacidade tecnológica
CT&I – Ciência, Tecnologia e Inovação
CI – Índice de Consistência
CR – Razão de Consistência
Eng. – Engenharia
Esp - Especialista
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICT – Índice de Capacidade Tecnológica
IC – Internet das Coisas
FBCF – Formação Bruta de Capital Fixo
FMCTEED – Ferramenta para Mensuração da Capacidade Tecnológica em Empresas de Edificações
NBR – Norma Brasileira
OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PAIC – Pesquisa Anual da Indústria da Construção
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
USIMINAS – Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais
3D – Três Dimensões
RC – Região Crítica
RI – Índice de aleatoriedade
FDP – Função Densidade de Probabilidade

LISTA DE SÍMBOLOS

a_{ij} : – valor da matriz par a par correspondente à comparação entre o indicador i e indicador j

n – número de indicadores

w_i – peso do indicador i

x_i – valor da variável e

x_i^* – valor máximo observado da variável

l – Índice,

\bar{x}_i – variável normalizada,

w_i – pesos

H_0 – hipótese a ser testada

H_1 – hipótese alternativa

P – parâmetro de análise

μ_0 – média

α – probabilidade do erro tipo I

ϵ – pertence

β – probabilidade do erro tipo II

X – variável associada a dada população

\int - integral

dx – diferencial

Σ - Somatório

Π - pi

SUMÁRIO

Sumário	16
1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Apresentação do problema do estudo	19
1.2. Questões da pesquisa	22
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo geral	22
1.3.2. Objetivo específico	22
1.4. Delimitação do tema	22
1.5. Estrutura do trabalho	23
2. SUBSETOR EDIFICAÇÕES E SUA DINÂMICA TECNOLÓGICA	24
2.1 Caracterização do subsetor edificações no Brasil	24
2.2 Dinâmica tecnológica no subsetor edificações	26
2.2.1. Aspectos gerais da Inovação tecnológica no subsetor edificações	26
2.2.2. Inovações tecnológicas do subsetor edificações	28
2.2.3.1 Digitalização de produtos e processos	28
2.2.3.2 Novos materiais	31
2.2.3.3 Industrialização	32
2.2.3.4 Robotização	34
3. ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS	37
3.1. Inovação tecnológica	37
3.2. Capacidade tecnológica (CT)	41
3.2.1. Desenvolvimento teórico e conceitual da Acumulação de CTs	41
3.2.2. Cronologia dos Modelos de Mensuração da Acumulação de CTs em Indústrias Diversas	43
3.3. Método analytical hierarchy process (AHP)	58
4. METODOLOGIA	61
4.1 Caracterização da pesquisa	61
4.2 Procedimentos metodológicos	61
4.2.1 Pesquisa observacional	62
4.2.1.1 Aplicação dos Testes de Hipóteses	63
4.2.2 Pesquisa observacional II	66

4.2.2.1	Aplicação do método AHP para hierarquização de indicadores	67
4.2.3	Pesquisa observacional III	70
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
5.1	Matriz proposta com base no referencial teórico.....	73
	Sistema de gestão.....	74
	Estágio tecnológico	75
	Desenvolvimento de CT&I.....	76
	Rede de colaboração	77
	Aprendizagem	78
5.2	Matriz refinada (pesquisa observacional I).....	81
5.3	Hierarquização dos parâmetros por meio do AHP (pesquisa observacional II).....	83
5.4	Aplicação da FMCTEED em construtoras de edificações (pesquisa observacional III).....	84
5.1.1	Análise da aplicação por empresa	85
5.1.2	Análise da aplicação para o conjunto.....	90
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
	REFERÊNCIAS.....	103
	Apêndice A.....	116
	Apêndice B.....	125
	Apêndice C.....	130
	Apêndice D.....	135
	Apêndice E.....	136
	Apêndice F.....	143

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo inicia a dissertação desenvolvida, de modo a apresentar a contextualização do tema, a lacuna do conhecimento existente, os objetivos do trabalho, bem como o problema e delimitação da pesquisa.

1.1. Apresentação do problema do estudo

A inovação é um dos processos que moldam a estrutura e o mecanismo de mudança econômica (SENER *et al.*, 2017), de forma a desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento industrial (LIU *et al.*, 2020). O avanço tecnológico através da industrialização ocorre com base na aquisição de competências tecnológicas que são traduzidas em produtos, processos ou serviços competitivos no curso da mudança de tecnologias no mercado (AMANKWAH-AMOAHA *et al.*, 2016).

De acordo com Ali (2021), quantidade considerável do sucesso e da expansão de capacidades tecnológicas (CTs) de longo prazo das empresas de nações industrializadas decorre da aprendizagem e inovação. No caso de países de industrialização tardia, como o Brasil, a acumulação de CTs é mais crítica, pois por diversas vezes iniciam suas atividades a partir de tecnologias importadas, sendo que em estágios iniciais possuem dificuldades até com capacidades básicas de produção (FRANCELINO, 2016).

Cada salto no desenvolvimento produtivo é caracterizado por mudanças principalmente nas tecnologias usadas na produção, levando a mudanças no modelo operacional, nos processos de negócios, na estrutura organizacional e no modelo de gestão das empresas (TRACHUK e LINDER, 2020). Nesse sentido, a quarta revolução industrial, chamada também de Indústria 4.0, que acontece no período atual da história, possui tecnologias que caracterizam uma nova era da produção industrial (KUZNETSOV, 2019)

Trachuk e Linder (2020) analisaram trabalhos de pesquisa de empresas de consultoria e verificaram os seguintes tipos de tecnologias compondo a quarta revolução industrial: robótica, Internet das coisas, segurança cibernética, dispositivos não tripulados, realidade virtual e aumentada, inteligência artificial, big data, impressão 3D, além de outras.

Durante as últimas décadas, a maioria das indústrias passou por uma evolução em seus processos produtivos (MASKURIY *et al.*, 2019), no entanto, o setor da construção não acompanhou o ritmo em termos de oportunidades tecnológicas que poderiam ter melhorado a produção (LIVOTOV *et al.*, 2019). Com o vasto potencial da indústria, empresas de construção que vem adotando técnicas de produção inovadoras e ferramentas da indústria 4.0 tem aumentado sua eficiência (GAO *et al.*, 2019). A quarta revolução industrial inseriu tecnologias digitais, sistemas, máquinas inteligentes e materiais inteligentes na área da construção, onde o BIM tomou centralidade para coletar informações digitais sobre um projeto (KING, 2018).

Na manufatura, a Indústria 4.0 foi introduzida como uma fábrica e processo de gerenciamento inteligentes (TIENG *et al.*, 2021). Fontes para atualizar as CTs das empresas às características da Indústria 4.0 podem ser alcançadas internamente dentro das organizações e externamente com parceiros da cadeia de suprimentos (TIENG *et al.*, 2021). As empresas com CT superior são frequentemente pioneiras em inovações e são responsáveis pelas mudanças mais significativas nas condições de mercado (TZOKAS *et al.*, 2015).

De acordo com Schubert *et al.* (2018), a CT se traduz pela soma das competências internas das empresas que vão desde a produção, uso, adaptação e melhoria de novos conhecimentos tecnológicos, tecnologias da cadeia de valor, tecnologias de desenvolvimento de produtos, até competências em previsão de tecnologia, avaliação de tecnologia, propriedade de patentes e licenças.

A forma como as empresas acumulam suas CTs impacta decisivamente na competitividade das indústrias e na maneira como se desenvolve a economia de um país (BELLO *et al.*, 2020). Embora fundamental, a CT possui um aspecto difuso, tácito, com estrutura multidimensional e particularidades específicas, de acordo com a atividade produtiva (MORI *et al.*, 2014). Essas características tornam a identificação das variáveis que descrevem a CT e a mensuração de seu estágio uma tarefa complexa.

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi desenvolvido como uma ferramenta prática para apoiar a tomada de decisão com aplicação em diversas áreas (BITARAFAN *et al.*, 2015; SAHNI e DAS, 2015; JENNINGS *et al.*, 2016). Laxman e Yeonbae (2018) afirmam que o AHP representa uma teoria básica de medição subjetiva e é uma ferramenta para atribuir pesos para comparar certos critérios ou

alternativas, fornecendo um modelo para tomada de decisão e classificação, permitindo também gerenciar e formular um modelo de hierarquia.

Diversas pesquisas estudaram uma forma de categorizar e avaliar as CTs de empresas em segmentos industriais variados, de acordo com funções específicas e estabelecendo níveis distintos de complexidade tecnológica (LALL, 1992; BELL, 1995; BIGGS *et al.*, 1995; NEVES, 2000; YAM *et al.*, 2004, FIGUEIREDO, 2002; FIGUEIREDO, 2005; SATO e FUJITA, 2009; FREITAS e HEINECK, 2014; MORI *et al.*, 2014; FRANCELINO, 2016; JEENANUNTA *et al.*, 2017; BARRAZA *et al.*, 2018; DAL BELLO *et al.*, 2020; FENG *et al.*, 2020). Neste trabalho, o método AHP foi usado para o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação das CTs das empresas de construção civil, especificamente do subsetor edificações. Empregou-se o AHP com o objetivo de compor índices agregados de mensuração ao invés de indicadores isolados.

Apesar da variedade de estudos, há carência de literatura que aborde a acumulação de CTs e/ou suas funções na indústria da construção de edificações, gerando uma oportunidade para o desenvolvimento de uma ferramenta nesse sentido, como é a proposta dessa dissertação. A ferramenta objeto da pesquisa visa analisar a trajetória da firma, especificamente o processo de acumulação de CTs de produção e inovação que caracterizam o que a empresa se tornou com base em preferências tecnológicas do passado.

A medida da acumulação de CTs, traduzida em uma ferramenta de mensuração, pode fornecer suporte para empresas do subsetor edificações avaliarem seus pontos fortes e fracos em relação à capacidade de absorver, usar, adequar e gerar produtos e processos, de modo a compreenderem o comportamento e o potencial tecnológico organizacional. A ferramenta desta pesquisa, denominada FMCTEED (Ferramenta para Mensuração da Capacidade Tecnológica em Empresas de Edificações), é composta por Índices, úteis para compreensão e auxílio dos processos de produção, bem como para a disseminação e para uso da tecnologia e da inovação

Desse modo, este trabalho vem preencher lacunas do conhecimento, identificando, avaliando e hierarquizando as funções específicas de CTs no subsetor de construção de edifícios. Além disso, esta dissertação espera contribuir para a expansão de informações acerca da dinâmica tecnológica na construção civil. Como consequência, esta pesquisa tem o potencial de identificar atrasos tecnológicos que

podem ser objeto de políticas públicas e/ou privadas para a modernização dessa indústria.

1.2. Questões da pesquisa

Esta pesquisa responde às seguintes questões:

De qual modo se pode medir as Capacidades Tecnológicas de empresas de construção de edifícios?

Quais parâmetros são relevantes para compor uma ferramenta de medida das Capacidades Tecnológicas de empresas de construção de edifícios?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Propor uma ferramenta, para mensuração da CT em empresas do segmento de construção de edifícios, com potencial para subsidiar estratégias de fomento, desenvolvimento e/ou implantação de tecnologia e inovação no subsetor.

1.3.2. Objetivo específico

Sistematizar informações para a seleção de parâmetros para integrarem uma matriz teórica de acumulação de CTs para o subsetor edificações.

Validar parâmetros para integrarem uma matriz consolidada de acumulação de CTs para o subsetor edificações.

Obter um conjunto de pesos para cada parâmetro da ferramenta de acumulação de CTs por meio de comparações binárias, de acordo com escala de importância do método AHP.

Avaliar a aplicação da ferramenta de mensuração da CT proposta.

1.4. Delimitação do tema

A ferramenta proposta de mensuração da CT foi desenvolvida para aplicabilidade restrita ao subsetor edificações. Esta pesquisa não visa discutir as

tecnologias ou inovações tecnológicas para a construção de edifícios de modo individual, apesar da dimensão de atualização tecnológica ser abordada como fundamental na análise da acumulação de CTs. Este trabalho também não aborda os impactos nos postos de trabalho devido a uma possível transformação da indústria de construção de edificações tradicional para uma indústria 4.0. Por fim, esta pesquisa apresenta uma visão, acerca funções de CTs para empresas de construção de edifícios, restrita de especialistas do Brasil, apesar da literatura abordar as funções a nível global.

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo, é apresentada a questão da pesquisa, a lacuna do conhecimento, as contribuições científicas do trabalho, a delimitação temática, a relevância, os objetivos e, por fim, a estrutura do trabalho.

No capítulo dois, apresenta-se a caracterização do subsetor edificações, escopo da ferramenta proposta, e desenvolvem-se temas relacionados à mudança técnica, à inovação e às dinâmicas tecnológicas nessa indústria.

Posteriormente, no capítulo três, realiza-se a revisão sobre temas relacionados à inovação, conceituação de CTs, modelos de mensuração e AHP. Tal capítulo busca fundamentar o modelo proposto pela definição de conceitos e dos elementos que serão considerados na arquitetura proposta.

O capítulo quatro apresenta os procedimentos metodológicos empregados na condução do trabalho.

O capítulo cinco descreve os resultados: (i) da sistematização de informações do referencial teórico traduzidas em uma matriz preliminar; (ii) o refinamento dessa matriz, por meio da análise, por especialistas, dos parâmetros selecionados; (iii) do conjunto de pesos e normalização de variáveis que deram origem aos índices usados no modelo final; (iv) da aplicação da ferramenta em três construtoras.

O capítulo seis apresenta as generalidades da teoria vista na pesquisa, as implicações da aplicação da ferramenta desenvolvida, o alcance de objetivos, as limitações do estudo e as sugestões para pesquisas futuras.

2. SUBSETOR EDIFICAÇÕES E SUA DINÂMICA TECNOLÓGICA

Este capítulo apresenta os principais aspectos econômicos que caracterizam a importância do subsetor edificações para o Brasil e que fundamentaram a escolha da área para estudo nesta pesquisa. Além disso, será analisada a dinâmica tecnológica do subsetor edificações, especificamente os elementos centrais da inovação tecnológica do segmento.

2.1 Caracterização do subsetor edificações no Brasil

Segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2002), a indústria da construção civil possui três divisões: a construção de edifícios; as obras de infraestrutura; e os serviços especializados para construção.

A divisão de construção de edifícios abrange edificações de todos os tipos (residenciais, comerciais, industriais, agropecuários e públicos), reformas, manutenções correntes, complementações e alterações de imóveis, montagem de estruturas de casas, abrigos e edifícios pré-fabricadas *in loco*, com finalidades variadas e de forma permanente ou temporária (IBGE, 2002).

Esta divisão inclui ainda a efetivação de empreendimentos imobiliários, residenciais ou não, provendo recursos financeiros, técnicos e materiais para a sua execução e posterior venda (incorporação imobiliária), além da execução de obras por empreitada ou subempreitada.

O setor de construção civil no Brasil cresceu 1,6% em 2019, resultado que interrompeu cinco anos de retração e correspondeu a aproximadamente 230 bilhões¹ do PIB brasileiro (INDICADORES IBGE, 2019). Para mais, 44% dos valores destinados a investimentos¹ (Formação Bruta de Capital Fixo - FBCF) no país em 2019 passaram pela construção.

¹ Valor calculado pelo autor a partir do relatório de Indicadores de Volume e Valores Correntes de out. – dez. 2019 (IBGE, 2019).

A Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) de 2018 registrou 80.684 empresas ativas² e 2.621.666 de ocupações² na construção civil, sendo 22.431 empresas de construção de edifícios e 614.222 postos ocupados nesse subsetor. Além disso, 37,54% do consumo de materiais de construção² e 27,12% do valor das obras e/ou serviços da construção² foi realizado pelo subsetor de edificações.

² Valor calculado pelo autor a partir do PAIC, IBGE, 2020.

2.2 Dinâmica tecnológica no subsetor edificações

2.2.1. Aspectos gerais da Inovação tecnológica no subsetor edificações

Na construção civil, a inovação representa a introdução de mudanças por meio do que há de mais moderno, como novos produtos, processos ou serviços (STEELE e MURRAY, 2004). Apesar de fundamental para a economia, o setor da construção observa seu processo de inovação ocorrer de forma lenta em relação a outros tipos de indústrias (BOCK, 2015). A dificuldade em se promover a inovação na indústria da construção passa por aspectos como aversão ao risco, margens de lucro limitadas, baixo grau de padronização dos produtos e valor fragmentado da cadeia (MCKINSEY & COMPANY, 2020).

Bock (2015) afirma que o longo ciclo de vida, a diversidade de funções, a natureza fixa do local de construção, os baixos orçamentos de P&D e a relutância da indústria em adotar novas estratégias e tecnologias representam um fator de limitação para o desenvolvimento tecnológico. Outras barreiras identificadas são tempo, custo, restrições contratuais e regulatórias, bem como a natureza pontual de organizações baseadas em projetos e habilidades profissionais (ILTER *et al.*, 2008).

No setor habitacional, a fragmentação e a fraca integração e cooperação da cadeia de abastecimento afeta a adoção de inovações (WOLFE e HENDRIKS, 2011; MCCOY *et al.*, 2012). Gan *et al.* (2015) e Zhang *et al.* (2014) destacam que a imaturidade de uma inovação pode ter um efeito prejudicial na vantagem relativa percebida e na decisão de adotar a inovação no setor de construção de habitações. Além disso, há evidências de que a inovação no setor habitacional depende da complexidade e da compatibilidade da novidade a ser adotada (NAHMENS e REICHEL, 2013; GAN *et al.*, 2015). O impacto do fator complexidade aumenta em casos nos quais a aplicação da inovação depende altamente da disponibilidade de pessoal qualificado e quando envolve mudanças em processos de construção familiarizados (NAHMENS E REICHEL, 2013; GAN *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2014).

Em relação aos aspectos motores para inovação na construção, Ilter *et al.* (2008) apontam que a cultura organizacional, as habilidades de gestão e o foco em clientes novos são os elementos mais frequentes que levam ao processo de inovação. Gann e Salter (2000) afirmam que novas exigências dos clientes, necessidades de

desenvolvimento de padrões, conformidade com novas regulamentações e ideias inovadoras do pessoal de pesquisa e desenvolvimento (P&D) também estimulam o processo de inovação. Segundo Ozorhon e Oral (2016), o apoio da alta administração é identificado como crucial para a adoção da inovação no setor. Isso porque a introdução da inovação no setor habitacional está condicionada fortemente ao ganho de vantagem competitiva em relação a outras tecnologias disponíveis (MCCOY *et al.*, 2012; XIAHOU *et al.*, 2018).

Meng e Brow (2018) estudaram as forças e estratégias que impulsionam a inovação em empresas de construção³ de diferentes tamanhos no Reino Unido. Os autores identificaram 13 motores e 7 estratégias comuns para empresas de construção de pequeno, médio e grande porte (Quadro 1). Com relação aos motores de inovação, o estudo demonstrou que o impulso do mercado⁴ tem um efeito maior na condução da inovação na construção do que o impulso tecnológico, haja vista que a indústria da construção tem uma conotação de baixa tecnologia. Além disso, a pesquisa apontou que a economia de custos desempenha um papel mais importante na condução da inovação para pequenas empresas. Entre os motores comuns para a inovação em empresas de construção, têm-se a melhoria de saúde e segurança, construção sustentável e satisfação do cliente/usuário, que caracterizam uma inovação por valor. No que concerne às estratégias de inovação, o estudo demonstra que a inovação em empresas de médio e grande porte é caracterizada pelo investimento em recursos, P&D, extensão de marketing, foco estratégico e de longo prazo e gestão proativa. Na construção, as pequenas empresas geralmente prestam mais atenção aos benefícios de curto prazo. Se a taxa de retorno for lenta, eles podem perder o interesse pela inovação. Em contraste, as médias e grandes empresas estão mais interessadas em benefícios de longo prazo. A inovação necessita de vários recursos, como dinheiro (recurso financeiro) e pessoas (recurso humano). São as médias e grandes empresas que podem investir em P&D. Em particular, o investimento em P&D ocupa papel central para as grandes empresas. São também

³ Essa pesquisa considerou como empresas: empreiteiros, subempreiteiros e empreiteiros especializados, bem como fornecedores de mão de obra, materiais e equipamentos. Por outro lado, empresas de projeto e consultores de gestão não estão incluídos nesse estudo.

⁴ Caracterizado por novas oportunidades de negócios, competição de mercado, mudanças nos ambientes de negócios e demandas dos clientes

as médias e grandes empresas que adotam estratégias de recrutamento e desenvolvimento de pessoal para promover a inovação.

Quadro 1 – Motores e estratégia de inovação para empresas de construção civil.

Motores de Inovação comuns para Empresas de Construção de Tamanhos Diferentes	Estratégias de Inovação Comuns para Empresas de Construção de Tamanhos Diferentes
Monitoramento de saúde e segurança	Uso efetivo dos recursos existentes
Satisfação do cliente/usuário	Aprimoramento das capacidades técnicas
Busca das melhores práticas	Combinação de recursos com estratégias
Redução de custo	Melhoria contínua do desempenho da inovação
Novas oportunidades de negócios	Educação e treinamento de funcionários
Competição de Mercado	Suporte da alta administração
Mudança em ambientes de negócios	Incentivo à cultura de aprendizado e inovação
Construção sustentável	Visão de negócios
Demandas do cliente	
Imagem corporativa	
Desenvolvimento de vantagens competitivas	
Crescimento da produtividade	
Avanços tecnológicos	

Fonte: Meng e Brow (2018)

Este tópico apresentou os aspectos que são considerados barreiras e motores para o processo de inovação na construção, com especificações para o setor habitacional. Além disso, foi visto como o tamanho das empresas de construção impacta no desenvolvimento da inovação, de acordo com suas motivações e estratégias. Essa análise nos permitiu compreender alguns pontos fundamentais da dinâmica de inovação na construção. Os próximos itens abordam as principais tendências para as inovações no subsetor edificações, tratados na literatura como essenciais para um novo estágio de transformações tecnológicas em construtoras de edificações.

2.2.2. Inovações tecnológicas do subsetor edificações

2.2.3.1 Digitalização de produtos e processos

De acordo com o relatório *The Next Normal in Construction* (MCKINSEY e COMPANY, 2020), as tecnologias digitais podem permitir melhor colaboração, maior

controle da cadeia de valor e uma mudança em direção a uma tomada de decisão fortemente baseada em dados. O relatório aponta que a digitalização possui potencial para mudar a forma como as empresas abordam as operações, o projeto e a construção, bem como o relacionamento entre os agentes envolvidos.

2.2.3.1.1 Internet das coisas

Prédios e infraestrutura inteligentes que integram a Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) aumentarão a disponibilidade de dados e permitirão operações mais eficientes (MCKINSEY E COMPANY, 2020). O conceito de IoT foi criado em 1999 no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) (ADAT e GUPTA, 2018). A área é reconhecida como uma das mais importantes da tecnologia do futuro e está recebendo muita atenção das indústrias (LEE e LEE, 2015).

A IoT pode ser definida como uma rede global de máquinas capazes de se comunicar e possibilitar que os objetos compartilhem informações e, em seguida, tomem decisões, o que os converte em objetos inteligentes por meio do uso de tecnologia para atingir um objetivo comum (ADAT *et al.*, 2018). Além disso, eles podem processar dados em tempo real, onde o congestionamento da rede diminuiu à medida que as redes sem fio aumentaram sua velocidade, fornecendo conectividade ideal (BOTTA *et al.*, 2016)

Em relação à Construção, cinco tecnologias de IC usadas para a implementação de produtos e serviços são bem-sucedidas: identificação por radiofrequência, redes de sensores sem fio, *middleware*, computação em nuvem e Software de aplicação de IoT (BORGIA *et al.*, 2014; LEE *et al.*, 2015).

A *BIM Engineering* (2018) dos EUA destacou as aplicações mais difundidas de IoT na indústria da construção:

Manutenção preventiva: Isso é importante para máquinas no local, onde qualquer avaria é monitorada pelo sistema embutido e sensor na máquina para relatar qualquer necessidade de conserto que requeira manutenção.

Redução de despesas administrativas: fornece escolha baseada em dados que ajuda a produzir previsão precisa em que os dados são usados para tomar decisões rápidas e precisas.

Monitoramento e observação em tempo real: as informações obtidas a partir de sensores e sistemas embarcados podem ser usadas para monitorar o processo de construção e que também ajuda a produzir decisões precisas.

Gerenciamento de construção: IoT ajuda a evitar tempo de inatividade e ajuda a fornecer comunicação avançada com todas as coisas, como materiais e caminhões, ajudando tomadores de decisão para reduzir o estouro de custos incorrido devido ao excesso uso de materiais e máquinas.

Monitoramento de Recursos Humanos: IoT ajuda a rastrear as horas de trabalho estimadas para qualquer atribuição particular.

Segurança no local: IoT ajuda a rastrear a mão de obra no local e monitorar sua mobilidade, o que ajuda a detectar qualquer perigo que possa ocorrer

A IoT está mudando também a forma como os usuários interagem com suas casas. Um exemplo disso é o conceito de casa inteligente, em que o usuário pode controlar um grande número de dispositivos para simplificar o dia a dia de forma totalmente remota por meio de uma rede inteligente (SISINNI *et al.*, 2018).

2.2.3.1.2 Modelagem de informações de construção (BIM)

As empresas podem melhorar a eficiência e integrar a fase de projeto com o resto da cadeia de valor usando o *Building Information Modeling* (BIM) para criar um modelo tridimensional completo e adicionar outras camadas no início do projeto, como por exemplo o cronograma físico financeiro, ao invés de terminar o projeto enquanto a construção já está em andamento (MCKINSEY e COMPANY, 2020).

Segundo Abanda *et al.* (2015), a tecnologia BIM se caracteriza como uma metodologia de projeto de construção colaborativa que simula digitalmente um projeto em tempo real, integrando todos os processos e facilitando o fluxo entre projetistas e fabricantes. A tecnologia vem sendo amplamente implementado em novos projetos de construção, embora alguns autores apontam a necessidade de fomentar a aplicação desta metodologia para edifícios existentes (DING *et al.*, 2019).

O BIM tem sido fundamental na digitalização da indústria da construção e sua transição para um modelo 4.0 (CHONG *et al.*, 2012; MARTÍNEZ-AIRES *et al.*, 2018). Alguns exemplos do uso do BIM são encontrados na integração de um modelo de realidade aumentada (MEZA *et al.*, 2014): simulação do consumo de energia antes da

real operação do edifício (ABANDA *et al.*, 2015; MEZA *et al.*, 2014) ou um fluxo de informação mais eficiente durante a execução da construção (ANTWI-AFARI, 2018).

O principal desafio que o BIM enfrenta está relacionado com a implementação total desta tecnologia em todas as fases do projeto, construção a operação de edifícios (SUN *et al.*, 2017). Nesse contexto, alguns estudos apontaram que o BIM teve apenas aplicação limitada, não abrangendo os projetos como um modelo digital integrado, como ferramenta de gestão e estimativa de custos (GERRISH *et al.*, 2017).

Um desafio fundamental para esta tecnologia está relacionado às limitações tecnológicas na implementação de modelos BIM em tempo real completo durante a construção, simulando todos os processos antes que eles realmente ocorram no mundo real (JOHANSSON *et al.*, 2015).

2.2.3.1.3 Canais digitais

O relatório *The Next Normal in Construction* (MCKINSEY E COMPANY, 2020) afirma que os canais digitais estão se espalhando para a construção, com potencial para transformar as interações de compra e venda de mercadorias em toda a cadeia de valor.

Segundo o relatório, mercados online, que otimizaram as cadeias de abastecimento em outras indústrias, podem melhorar significativamente a eficiência de compra e venda de mercadorias ao longo da cadeia de valor da construção e melhorar as interações, tanto entre clientes e fornecedores de projetos inteiros, quanto entre os participantes da indústria ao longo da cadeia de valor durante os projetos.

Os canais digitais também podem interromper radicalmente a distribuição e remodelar a logística de construção. Em toda a cadeia de valor, novas empresas surgiram para estabelecer mercados on-line para compra e venda de mercadorias, como equipamentos, materiais de construção e serviços profissionais (MCKINSEY & COMPANY, 2020).

2.2.3.2 Novos materiais

Há uma variedade de estudos recentes que surgiram em resposta ao interesse em melhorar as propriedades dos materiais de construção (LI *et al.*, 2020; HATTAN *et al.*, 2021; MARKOV *et al.*, 2021; CAO *et al.*, 2021; CHARAI *et al.*, 2021) e em

desenvolver materiais de construção sustentáveis (ENRÍQUEZ *et al.*, 2020; ONOCHIE e BALKIS, 2021; HE *et al.*, 2021; AMRAN *et al.*, 2021).

O aumento do uso de materiais mais leves, como armações de aço leve e madeira laminada cruzada, pode reduzir custos e permitir uma logística de longo curso e mais centralizada na produção e distribuição (MCKINSEY e COMPANY, 2020). Avanços na tecnologia de concreto permitem materiais mais leves, flexíveis e com melhores propriedades de trabalhabilidade, minimizando a necessidade de etapas como vibração e acabamento (BASHA *et al.*, 2020; BELLIL *et al.*, 2021).

Diversos materiais de construção, como o cimento, geram elevados impactos ambientais em seus processos produtivos (SANDANAYAKE *et al.*, 2020). Desse modo, ferramentas de avaliação de impactos ambientais vinculam o contexto ambiental de uma construção à estrutura de tomada de decisão do projeto, possibilitando a escolha de materiais mais sustentáveis (SARTORI *et al.*, 2021).

Sistemas de certificação de edifícios verdes, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) incorporaram a Análise do Ciclo de Vida (LCA, do inglês *Life Cycle Assessment*) dos materiais como parte de seu sistema de avaliação (TLEUKEN *et al.*, 2021). Esses sistemas ajudam o setor de construção a diminuir os efeitos de edifícios no meio ambiente (ILLANKOON *et al.*, 2017), já que determinam e comparam materiais de baixo impacto para seleção (SARTORI *et al.*, 2021).

2.2.3.3 Industrialização

2.2.3.3.1 Pré-fabricação

A NBR 9062 (ABNT, 2017) define elemento pré-fabricado como um elemento pré-moldado executados industrialmente nas instalações permanentes de empresa destinada para este fim, com o uso de mão de obra qualificada e de matéria prima ensaiada e testada pela empresa no recebimento e antes de sua utilização.

Para Durdyev e Ismail (2016), no processo de construção propriamente, a pré-fabricação é a modalidade construtiva que realiza a maior parte da obra na fábrica, com maior qualidade, eficiência e segurança, transportando posteriormente os elementos produzidos para o canteiro de obras.

Quando comparado aos métodos convencionais de construção, o sistema de construção pré-fabricado fornece reduções significativas de custo e tempo (KAMALI *et al.*, 2016; KOZLOVSKÁ *et al.*, 2014). Em um sistema construtivo pré-fabricado, as fases de preparação do local e construção dos módulos podem ocorrer simultaneamente, enquanto na construção convencional, a fase de construção ocorre após a fase de preparação do local (KAMALI *et al.*, 2016; KAWECKI *et al.*, 2010).

De acordo com Kamali *et al.* (2016) na construção pré-fabricada pode ocorrer reduções no tempo de construção de cerca de 40%, quando comparada às práticas convencionais de construção. No entanto, o planejamento do pré-projeto é bastante intenso para os sistemas construtivos pré-fabricados, pois seu projeto possui complexidades diferentes do projeto convencional (SCHOENBORN, 2012)

. Por exemplo, características como quando os módulos são levantados, transportados para o local do projeto final, colocados na fundação e unidos para formar o edifício precisam ser levadas em consideração na fase de projeto (KAMALI *et al.*, 2016). Isso requer mais engenheiros, controladores de qualidade e trabalhadores qualificados, elevando o custo e a duração da fase de projeto, mas reduzindo o custo e o tempo da fase de construção no local (SCHOENBORN, 2012).

Além disso, a construção pré-fabricada reduz o número de trabalhadores no local, o que reduz o custo total da mão de obra em cerca de 25% em comparação com os métodos tradicionais de construção (CHIU, 2012). Segundo Kurama *et al.* (2018) a qualidade de edifícios pré-fabricados é superior à verificada em construções convencionais.

. Alguns dos obstáculos para a pré-fabricação de edifícios incluem: um longo tempo de projeto, baixa flexibilidade para mudanças nos projetos, ausência de projetistas experientes e baixa experiência de gerenciamento por parte das empresas (ZHANG *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2019).

2.2.3.3.2. Impressão 3D

A impressão tridimensional consiste na criação de objetos físicos através da deposição de camadas usando um plano digital (ZAREIYAN *et al.*, 2017). Quando esta tecnologia apareceu por volta de 1980, inicialmente foi considerada apenas para uso em prototipagem (WELLER *et al.*, 2015). Desde então, diferentes processos foram desenvolvidos com diferentes técnicas e materiais (XIA *et al.*, 2019).

Recentemente, a impressão 3D tem gerado interesse na indústria de Construção, principalmente em estudos envolvendo a utilização do concreto (GOSSELIN *et al.*, 2016; ASPRONE *et al.*, 2018). Essa tecnologia tem potencial para causar reduções significativas no tempo de produção, permitindo ainda a confecção de edifícios altamente personalizados (WU *et al.*, 2016). A qualidade da impressão, o comportamento dos materiais, a velocidade e o tempo de impressão entre as camadas influenciam muito o resultado final (PAUL *et al.*, 2018)

Apesar de promissora, esta tecnologia ainda enfrenta várias limitações técnicas que restringem sua aplicação a protótipos e modelos em escala (WU *et al.*, 2016). O concreto é um dos materiais que melhor se adaptam à construção impressa em 3D, mas ainda necessita ser mais pesquisado (DE SCHUTTER, *et al.*, 2018); modelos em grande escala ainda são inviáveis devido às limitações das impressoras 3D disponíveis comercialmente (WU *et al.*, 2016).

Para Oropallo e Piegl (2016) há dez desafios para a impressão 3D: otimização da forma, projeto para impressão 3D, pré-processamento e pós-processamento, metodologias de impressão, controle de erros, impressão multimaterial, hardware e problemas de manutenção, orientação da peça, corte e velocidade.

2.2.3.4 Robotização

A robotização da construção envolve o uso de máquinas sofisticadas e inteligentes (PAN *et al.*, 2018). Em obras de edifícios, a robotização pode ser usada para certas tarefas em específico, como acabamento, pintura de parede, assentamento de tijolos e etc. (BOCK, 2016; BOGUE, 2018). Ademais, a robótica pode cumprir um papel mais amplo, como inspecionar estruturas civis e montar peças na construção de estruturas (LATTANZI *et al.*, 2017)

Gassel (2003) classificou os sistemas construtivos de acordo com as tarefas necessárias para o desempenho de uma atividade de construção (Quadro 2).

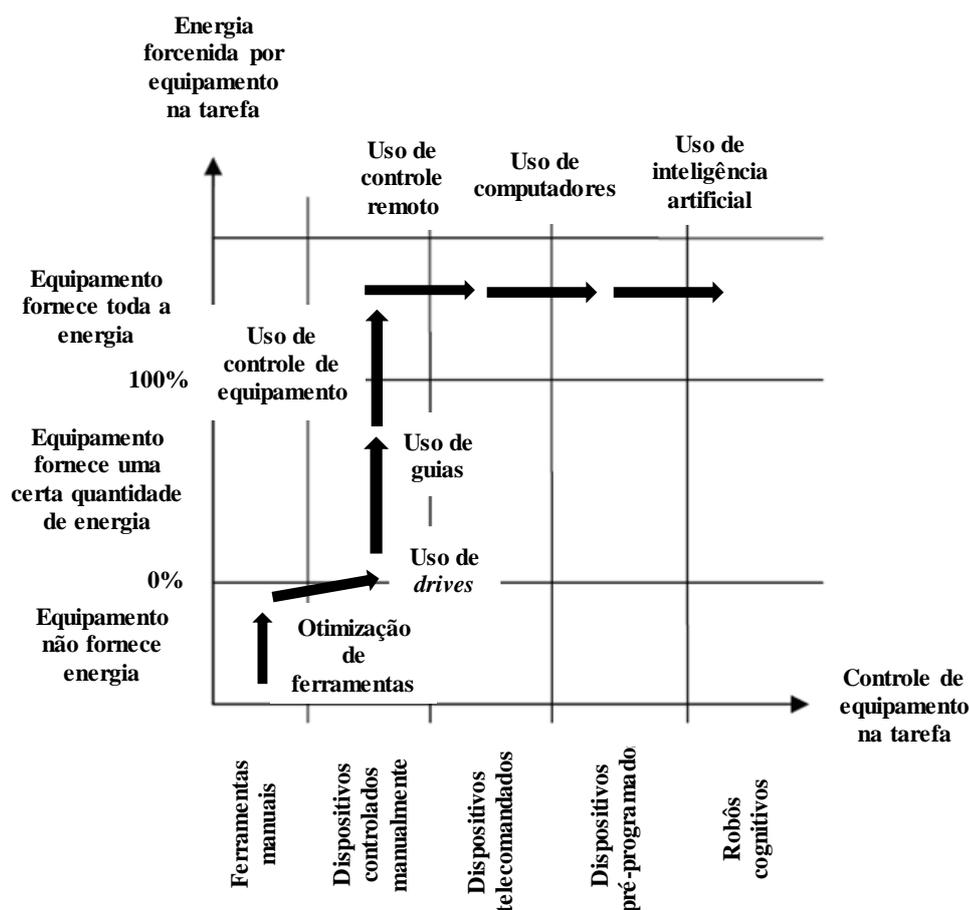
Quadro 2 – Produção de componentes de edifícios por robôs.

Sistema construtivo	Tarefas		
	Físicas	Cognitivas	Organizacional
Tradicional	Trabalhadores e equipamentos	Trabalhadores	Trabalhadores
Mecanizado	Equipamentos	Trabalhadores	Trabalhadores
Robotizado	Equipamentos	Computadores e softwares; Meio de comunicação	Trabalhadores
Automatizado	Equipamentos	Computadores e softwares; Meios de comunicação	Computadores e softwares; Meio des comunicação

Fonte: Gassel (2003)

Já Gassel e Mass (2008) definiram fases de mecanização, de acordo com o efeito que determinada tecnologia causa em relação ao fornecimento de energia pelo equipamento na tarefa, (Figura 1).

Figura 1 – Fases de mecanização



Fonte: Adaptado de GASSEL e MASS (2008).

De acordo com Gassel e Mass (2008), as fases de mecanização descrevem as tarefas físicas, cognitivas e organizativas em relação ao possível uso das tecnologias

homem-máquina. A implementação de robôs em processos produtivos de construção se destaca pela precisão, velocidade e eficiência em uma variedade de tarefas, resultando em aumento de produtividade (ALY *et al.*, 2017; KEHOE *et al.*, 2015).

Além de atuar diretamente no processo de produção, automatizando sistemas construtivos, o uso de robôs pode fornecer soluções para problemas em áreas que não estão diretamente ligadas à execução da obra, como o planejamento de rotas para transporte de materiais (LUNDEEN *et al.*, 2019). Os robôs são considerados parte do ambiente de trabalho porque combinam automação com processos cognitivos (VILLANI *et al.*, 2018)

Atualmente, a combinação de dispositivos comuns amplamente difundidos, como smartphones, junto com a robótica aérea, simbolizada pelos drones, possibilitou a coordenação aérea, o monitoramento e fiscalização em tempo real dos canteiros de obras (BRYSON *et al.*, 2017). No entanto, existem desafios que a robótica deve superar. Um deles está relacionado à logística para robôs que trabalham em um local fixo (BUCHLI *et al.*, 2018). Outros desafios igualmente importantes incluem a segurança em processos automatizados, planejamento de tarefas e situações comunicacionais entre robôs e humanos (LIANG *et al.*, 2019).

3. ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

Este capítulo aborda os principais conceitos de inovação tecnológica e a forma como a mesma pode ser avaliada. Além disso, apresenta os principais aspectos que definem a CT, assim como vários modelos para sua mensuração. Tais modelos de mensuração da CT serão analisados com a finalidade de estabelecer parâmetros para a montagem da ferramenta desta pesquisa. Com base em alguns dos estudos deste capítulo, o método AHP foi escolhido para a confecção de índices (pesos), visando fornecer à ferramenta uma essência de resultados quantitativos, por isso, o método também será apresentado neste tópico.

3.1. Inovação tecnológica

O ambiente atual no qual as empresas operam é caracterizado pela contínua introdução de inovações e redução do ciclo de vida dos produtos e tecnologias (MARTÍNEZ-AIRES *et al.*, 2018). A inovação impacta na competitividade global, no sistema financeiro, na qualidade de vida, no desenvolvimento de infraestrutura, na geração de emprego e também na abertura comercial, por isso, é capaz de gerar alto crescimento econômico (MARADANA *et al.*, 2017; ARANT *et al.*, 2019; FENG *et al.*, 2020). De acordo com Santos *et al.* (2014) a inovação tem despertado interesse no meio acadêmico, no mundo dos negócios, e dos governos de todos os países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Os conceitos de inovação estão alicerçados nos princípios da destruição criativa e do ciclo econômico, desenvolvidos por Joseph Schumpeter na primeira metade do século XX. Segundo Schumpeter (1939), o desenvolvimento econômico é impulsionado pela inovação através de um processo dinâmico de evolução, capaz de destruir os antigos modelos, substituindo-os por novos.

Para Chatzoglou e Chatzoudes (2018) a inovação pode ser definida como sendo o processo de tradução de ideias (ou invenções) em bens e serviços comercializáveis de uma forma que produzam valor.

Atualmente aceita-se que a inovação é derivada de um modelo de negócio que consiste na geração e manutenção de valor para os principais *stakeholders* por meio da inovação na proposta de valor, no relacionamento com os clientes, na

segmentação de clientes, no relacionamento com os canais de distribuição e no desenvolvimento de parcerias que consistem nos principais elementos estruturantes do negócio (FOSS e SAEBI, 2018).

O Manual de Oslo (2018) classifica a inovação em inovações de produto e inovações de processos de negócios. De acordo com essa divisão, as inovações de produto são um bem ou serviço novo ou melhorado que difere significativamente dos bens ou serviços anteriores da empresa e que foi introduzido no mercado; já inovações de processo de negócios são definidas como processos de negócios novos ou aprimorados para uma ou mais funções de negócios que diferem significativamente dos processos de negócios anteriores da empresa e que foi colocado em uso. Os diferentes tipos de inovação são influenciados por aspectos relacionados as características, ambiente de negócios, dinâmica de mercado e nível de desenvolvimento do país, bem como por particularidades identificadas no setor em que a empresa opera (OLIVA *et al.*, 2019).

O estudo dos padrões setoriais de inovação tem recebido destaque da academia nas últimas décadas. A perspectiva setorial no processo de inovação da empresa é consequência direta da visão econômica schumpeteriana, segundo a qual o processo de inovação é resultado do processo de acumulação tecnológica no setor, causando uma mudança no estado de equilíbrio econômico devido, por exemplo, a introdução de um novo produto que ocasiona um monopólio (FRANK *et al.*, 2016; GAULT, 2018).

Segundo Castellacci (2008), os padrões de inovação diferem de acordo com o setor em que a empresa atua, pois, em alguns setores, essas atividades estão concentradas em poucas empresas, enquanto em outros setores, os padrões de inovação são distribuídos por um grande número de empresas. Esses padrões foram encontrados em diversas indústrias, e podem estar relacionados à concentração do setor e seu nível tecnológico, entre outros fatores intrínsecos às organizações que os compõem (MALERBA, 2006). A chave para melhorar o desempenho e o valor das empresas é a eficiência com a qual os insumos de inovação são transformados em resultados de inovação (MARTÍNEZ-AIRES *et al.*, 2018). Por isso, a identificação das forças motrizes por trás da inovação é de fundamental importância (HAUSER *et al.*, 2018).

Uma forma de avaliar a inovação é através da utilização de indicadores⁵. Maradana *et al.* (2017), ao estudarem a inovação em países europeus, representaram a inovação de acordo com seis indicadores: número de patentes-residentes (medido por mil habitantes); número de patentes não residentes (medido por mil habitantes); despesas de P&D (medido como uma porcentagem do produto interno bruto real); número de pesquisadores em pesquisa e atividades de desenvolvimento (medido por mil habitantes); exportação de alta tecnologia (medida como uma porcentagem do produto interno real); e artigos científico e em periódicos técnicos (medidos por mil habitantes).

Essmann e Preez (2010) averiguaram a capacidade de inovação de empresas por meio de indicadores organizacionais e os incorporaram a um modelo de maturidade da capacidade de inovação. Em suma, o modelo não descreve práticas, no entanto, mostra requisitos a serem seguidos pela empresa. A abordagem é a dos Modelos de Maturidade, estabelecendo os níveis: Integração, Sinergia e Autonomia, Formalização e Previsibilidade, *Ad hoc* e Limitada. A pesquisa dividiu a inovação de acordo com as dimensões: Suporte Organizacional (estratégia de inovação e liderança, estrutura e infraestrutura, ambiente e clima, recursos e medidas), Conhecimento e Competência (descobrir e absorver, consolidar, competência chave e tecnologia) e Processo de Inovação (explorar e convergir, gestão de portfólio, consolidar e explorar, controle de processos e gestão do risco); representando a parcela organizacional, as funções se traduzem também em atividades internas (estratégias e objetivos, funções e processos, organização e gerenciamento, dados e informações) e atividades externas (dados e informações, clientes e fornecedores).

Kelly *et al.* (2018) usaram análise textual de dados em documentos de patentes de alta dimensão para criar indicadores de inovação tecnológica. Os autores identificaram patentes significativas com base na semelhança textual de uma determinada patente, considerando um trabalho anterior e subsequente: essas patentes são distintas do trabalho anterior, mas são relacionadas com as inovações subsequentes. O trabalho verificou que a medida da importância da patente é preditiva de futuras citações e se correlaciona fortemente com as medidas de valor de

⁵ Um indicador é considerado uma medida que fornece informações sobre um fenômeno específico ou sobre seu estado atual (DZIALLAS e BLIND, 2018)

mercado. Os autores identificaram o avanço das inovações de acordo com as patentes mais significativas (aquelas na cauda direita de nossa medida) para construir índices de mudança tecnológica no nível agregado, setorial e empresarial. Os índices de tecnologia desse trabalho abrangem dois séculos (1840-2010) e incluem a inovação por empresas privadas e públicas, bem como de organizações sem fins lucrativos e o governo dos EUA.

Alguns outros mecanismos são importantes para o desenvolvimento da inovação, como as colaborações universidade-empresa e os subsídios governamentais. Wirsich *et al.* (2016) argumentam que a parceria empresa/universidade pode facilitar o acesso ao conhecimento externo e a recursos complementares, melhorando, em última instância, a difusão do conhecimento entre os parceiros por meio da colaboração. Já os subsídios governamentais facilitaram o desempenho operacional das empresas, melhorando assim o ambiente de inovação e aumentando a eficiência da inovação nas empresas (LIN E LUAN, 2020).

Arant *et al.* (2019), estudaram o papel que as colaborações universidade-empresa desempenham em inovações radicais de empresas alemãs, combinando dados de firmas, patentes e subsídios governamentais. O foco nas inovações radicais ocorreu devido ao seu papel fundamental na criação de vantagem competitiva. Com base nos dados de patentes, o estudo identificou que a parceria universidade-empresa contribui para o surgimento de inovações radicais usando novas combinações de tecnologia. Além disso, a pesquisa identificou que subsídios do governo alemão se traduzem em relações formais, por meio de colaborações de P&D, entre universidades, empresas e instituições de pesquisa.

Lin e Luan (2020) mediram o desempenho da inovação com base nos dados de empresas fotovoltaicas chinesas e avaliaram os efeitos dos subsídios governamentais e de outros fatores no desempenho da inovação. A pesquisa mostrou que subsídios do governo foram usados diretamente em atividades de P&D, capacitação de mão de obra, construção de departamento de P&D, aquisição de tecnologias avançadas e instrumentos de ponta. Esse conjunto de investimentos impulsionou direta e significativamente a inovação e o desempenho das empresas.

Em seu estudo, Chatzoglou e Chatzoudes (2018) estudaram como a inovação é influenciada pela cultura organizacional. Os autores afirmam que a cultura organizacional pode limitar a capacidade da empresa como um todo para inovar. O

trabalho mostra que, em um nível organizacional, os gerentes devem buscar diversos objetivos como: desenvolvimento de uma cultura que incentive a criatividade, a experimentação, o pensamento empreendedor, a engenhosidade individual e a liberdade. Além disso, a empresa deve desenvolver um sistema de gestão do conhecimento que incentive o diálogo e a colaboração e estabeleça processos para o compartilhamento de conhecimento.

Logo, a inovação tecnológica possui centralidade no contexto industrial à medida que incorpora melhorias em produtos, processos e serviços, tornando, desse modo, a organização mais competitiva e capaz de alcançar maior fatia de mercado. Por sua importância, a inovação é traduzida em indicadores para que se torne uma medida mensurável. Os próximos tópicos abordam aspectos fundamentais que levam as organizações industriais a atingirem seu desenvolvimento por meio do processo inovativo e as dinâmicas necessárias para atingir o estágio de mudança técnica.

3.2. Capacidade tecnológica (CT)

3.2.1. Desenvolvimento teórico e conceitual da Acumulação de CTs

A teoria da acumulação de CTs permite a compreensão sobre o que precisa ser potencializado em uma organização, em um cenário de economias de industrialização tardia, para vencer o subdesenvolvimento tecnológico. Essa concepção está vinculada à Economia Evolucionária, iniciada por Penrose (1959), que entendia a empresa como um armazém de capacidades específicas, conforme cada atividade produtiva.

Os autores que conferiram visibilidade a Teoria Evolucionária foram Nelson e Winter (1982), fornecendo centralidade ao papel das escolhas técnicas e organizacionais da empresa ao longo do tempo para a compreensão de uma trajetória tecnológica que se traduz em capacidades tecnológicas acumuladas e que se torna fator de competitividade.

Essa base teórica contribuiu para os estudos iniciais de acumulação de CTs, como os realizados por Katz (1987) e Lall (1992). Em um contexto no qual havia ausência de pesquisas elucidativas em relação ao estágio tecnológico de economias de industrialização tardia, tais pesquisas preencheram uma lacuna de conhecimento

bastante relevante. A etapa seguinte da evolução dos estudos de acumulação de CTs foi a concepção, aplicação e refinamento de modelos analíticos de mensuração de CTs, como verificado nos estudos de Bell (1995), Biggs *et al.* (1995), Neves (2000) Figueiredo (2002, 2005) Yam *et al.* (2004) e Francelino (2016).

A primeira definição mais abrangente de CT é encontrada no trabalho de Bell e Pavitt (1993), que afirmam que CTs são recursos essenciais para criar e gerenciar transformações tecnológicas, abrangendo habilidades, conhecimento, experiências e estruturas institucionais e de ligação no interior das empresas e em seu ambiente externo. De acordo com essa definição, as CTs possuem natureza difusa, complexa e abrangente, se acumulando e sendo absorvidas pelo capital humano da empresa, através de conhecimentos e experiências, e pelos sistemas organizacionais, se traduzindo em rotinas e procedimentos.

De acordo com Figueiredo (2013), a CT se caracteriza pelos seus recursos de natureza cognitiva, possuindo natureza intangível, por não se traduzir em um ativo físico empresarial, apesar de nortear o desempenho organizacional no mercado. Segundo o autor, a CT conduz ao processo inovativo, através do aprimoramento ou criação de produtos, processos de produção e processos gerenciais.

Segundo Tzokas *et al.* (2015) a capacidade tecnológica é a aptidão da empresa de caminhar em direção aos estágios da arte tecnológica e incorporar esses níveis ao seu processo de confecção de novos produtos, o qual é dependente destas tecnologias tanto para as fases de desenvolvimento quanto de lançamento. Para os autores, as fases de construção da capacidade tecnológica são: a identificação de oportunidades tecnológicas; a obtenção de tecnologias relevantes; o domínio do estado da arte tecnológico; e a resposta a mudanças de tecnologia.

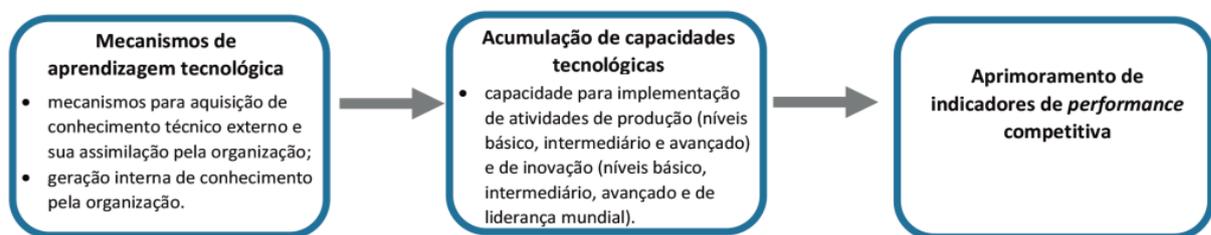
Dal Bello (2020) considera que a aprendizagem tecnológica possui um papel fundamental na acumulação de CTs que levam ao processo de inovação. Ao estudar a gestão da inovação em empresas brasileiras, o autor considerou três mecanismos de aprendizagem:

- (i) intraempresariais (alavancagem de conhecimento externo e geração interna de saber tecnológico);
- (ii) interempresariais (fluxos de saber entre subsidiárias de empresas multinacionais, localizadas no Brasil e suas empresas-mães e empresas-irmãs);
- e (iii) interorganizacionais (ligações de

saber entre as empresas e as demais organizações do sistema de inovação) (DAL BELLO, 2020, p. 438).

Uma síntese do relacionamento entre a aprendizagem tecnológica, o processo de acumulação de capacidades tecnológicas para inovação e como esse processo influencia diretamente os indicadores de performance competitiva organizacional é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Relação entre aprendizagem tecnológica e o processo de acumulação de CTs.



Fonte: Adaptado de DAL BELLO (2020).

Para a presente dissertação, considera-se CTs como um reservatório de recursos interdependentes necessários para desenvolver e gerenciar mudanças tecnológicas em produtos, sistemas organizacionais, equipamentos e processos. A seguir serão apresentados vários modelos de medição de CTs em vários tipos de indústrias, buscando-se analisar os principais parâmetros usados nessas ferramentas como forma de nortear o modelo desta dissertação.

3.2.2. Cronologia dos Modelos de Mensuração da Acumulação de CTs em Indústrias Diversas

As matrizes de CT são uma forma de categorizar e avaliar as CTs de empresas, de acordo com funções específicas e nível de complexidade. O trabalho de Lall (1992) forneceu as bases gerais para todos os trabalhos seguintes. A arquitetura da matriz proposta por este autor é formada por colunas, representando as principais funções tecnológicas que levariam a empresa a obtenção de resultados positivos, e por linhas, equivalentes a um grau de complexidade tecnológica que varia de um nível básico a um nível avançado. É fundamental compreender que a matriz desenvolvida nesta

pesquisa e os trabalhos derivados deste, não apresentam uma sequência exata do aprendizado tecnológico, assim como as funções apresentadas não esgotam todas as possibilidades de funções. Além disso, os graus de complexidade tecnológica são indicativos, haja vista a dificuldade em classificar uma dimensão como simples ou complexa. O desenvolvimento da matriz de Lall (1992) contemplou três categorias de capacidades, consideradas as funções de maior relevância: capacidades de investimento, capacidades de produção e capacidades de ligação com a economia. Tais funções refletem os principais aspectos que a empresa necessita dominar antes de atingir certo nível tecnológico.

No estudo de Bell (1995), é possível verificar uma categorização na qual há diferenças entre capacidades básicas de produção (técnicas de produção consolidadas) e capacidades tecnológicas (para criar e gerenciar mudanças tecnológicas). O autor também propôs uma matriz, com colunas dispostas as funções: Atividades de Investimento, Oferta de Bens de Capital, Atividades de Produção e Atividades e Ligação; a matriz possui ainda linhas que estabelecem três níveis de desenvolvimento tecnológico: básico, intermediário e avançado. O modelo proposto no estudo de Bell (1995) aborda as diversas capacidades da engenharia relacionadas à realização de investimentos para construir máquinas e equipamentos, para o desenvolvimento de novos produtos e para formar uma teia de relações externas onde se pode buscar tecnologias.

O estudo de Biggs *et al.* (1995) promoveu uma avaliação sistemática das CTs de empresas manufatureiras africanas, para estimar seus níveis de eficiência técnica e para analisar a importância das capacidades tecnológicas na determinação da eficiência técnica ao nível da empresa. Usando dados de empresas em Gana, Quênia e Zimbábue, o estudo avaliou os componentes das capacidades de investimento, produção e aprendizagem, por meio de análises isoladas de indicadores para cada categoria.

Neves (2000) analisou a capacidade e demanda tecnológica em empresas do setor da agroindústria de alimentos, visando compreender como a interação entre os produtores do conhecimento científico (universidades e centros de pesquisa) e as empresas pode resultar em uma mudança tecnológica. As funções analisadas na pesquisa foram: qualificação dos recursos humanos; controle de produção; e utilização e acesso a tecnologias. O autor utilizou índices, formados pelo somatório

de escores em uma escala de 1 a 5, e perguntas abertas e fechadas para avaliar a capacidade tecnológica.

Figueiredo (2002) avaliou as implicações das formas de acumulação de CTs em relação às diferenças entre empresas na melhoria do desempenho operacional no contexto da industrialização tardia. Essa relação é examinada ao longo da vida de duas grandes empresas siderúrgicas no Brasil: USIMINAS (1956–1997) e CSN (1938–1997). O trabalho estruturou vários níveis de acumulação de capacidades tecnológicas, conforme a função e nível de dificuldade. A estrutura consiste em sete níveis de capacidade (do básico ao avançado) em cinco funções tecnológicas: (i) tomada de decisão e controle do usuário da instalação; (ii) engenharia de projeto; (iii) processo e produção na organização; (iv) centralidade no produto; e (v) equipamentos. A pesquisa de Figueiredo (2002) revelou que o acúmulo de capacidade operacional de rotina (Níveis 1 e 2) desempenha um papel crítico no acúmulo e manutenção de capacidades inovadoras. Por exemplo, a USIMINAS não teria alcançado um rápido acúmulo de capacidade de desenvolvimento de produto se não tivesse desenvolvido e fortalecido os níveis 1 e 2 e a capacidade de rotina para produtos e processos e organização de produção. Nem a empresa teria sido capaz de se envolver com sucesso no desenvolvimento da capacidade de "ampliação da capacidade" se não tivesse acumulado a capacidade de rotina para investimentos.

Yam *et al.* (2004) apresentou uma estrutura de estudo de auditoria de inovação e examinou a relevância de sete capacidades de inovação tecnológica (CITs) para construção e sustentação da competitividade das empresas chinesas. A análise de regressão foi empregada para examinar a correlação entre as CITs e a taxa de inovação, o crescimento das vendas e a competitividade do produto entre essas empresas. A avaliação foi promovida de forma subjetiva pelas empresas, usando escala de pontos e cálculo de média para cada tipo de capacidade. As funções analisadas foram: Capacidade de aprendizagem, Capacidade de P&D, Capacidade de Alocação de Recursos, Capacidade de Fabricação, Marketing, Capacidade de Organização e Capacidade de Planejamento Estratégico.

Neste outro trabalho, Figueiredo (2005) trata acerca da gestão do processo de desenvolvimento industrial no que tange as economias em desenvolvimento, especialmente o Brasil. O pesquisador definiu determinadas terminologias relativas a acumulação de capacidade tecnológica e inovação industrial e apresentou um

modelo, acompanhado de aplicação prática, que pode ser usado para examinar e gerir o processo de desenvolvimento industrial. Figueiredo (2005) propôs um modelo para identificar e medir a acumulação de capacidade tecnológica, baseada em atividades que as empresas são capazes de realizar ao longo de sua existência (Quadro 3). A ferramenta permite realizar uma distinção entre: capacidades rotineiras (são para usar ou operar certa tecnologia e sistemas de produção) e capacitações inovadoras (são para adaptar e/ou desenvolver novos processos de produção, sistemas organizacionais, produtos, equipamentos e projetos de engenharia).

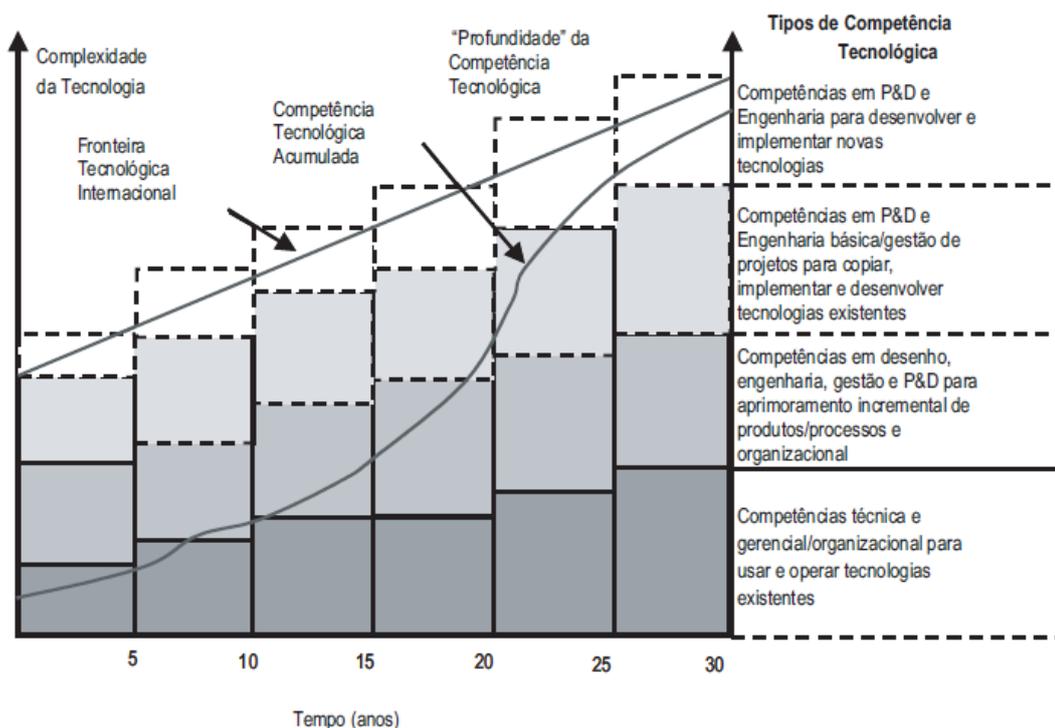
Quadro 3 - Modelo descritivo da capacidade tecnológica em economias emergentes.

Níveis de Competências Tecnológicas	Funções Tecnológicas e Atividades Relacionadas				
	Investimentos		Processos e Organização da Produção	Produtos	Equipamentos
	Decisão e Controle sobre a Planta	Engenharia de Projetos			
CAPACIDADES DE ROTINA					
(1) Básico	Decisão sobre localização da planta. Termos de referência.	Preparação inicial de projeto. Sincronização de trabalhos de construção civil e instalações.	Coordenação de rotina na planta. Absorção da capacidade da planta. PCP e CQ básicos.	Replicação de aços seguindo especificações amplamente aceitas. CQ de rotina. Fornecimento a mercados de exportação.	Reposição de rotina de componentes de equipamento. Participação em instalações e testes de <i>performance</i> .
(2) Renovado	Monitoramento ativo de rotina de unidades existentes na planta.	Serviços rotineiros de engenharia na planta nova e/ou existente.	Estabilidade do AF e aciaria. Coordenação aprimorada da planta. Obtenção de certificação (ex.: ISO 9002, QS 9000)	Replicação aprimorada de especificações de aços dados ou próprias. Obtenção de certificação internacional para CQ de rotina.	Manufatura e reposição de componentes (ex.: cilindros) sob certificação internacional (ISO 9002)
CAPACIDADES INOVADORAS					
(3) Extra-básico	Envolvimento ativo em fontes de financiamento de tecnologia.	Planejamento de projeto. Estudos de viabilidade tecnicamente assistidos, para grandes expansões.	Pequenas adaptações e intermitentes em processos, eliminação de gargalos, e alongamento de capacidade.	Pequenas adaptações em especificações dadas. Criação de especificações próprias para aços (dimensão, forma, propriedades mecânicas).	Pequenas adaptações em equipamentos para ajustá-los a matérias-primas locais. Manutenção <i>break-down</i> .
(4) Pré-Intermediário	Monitoramento parcial e controle de estudos de viabilidade de expansão, busca, avaliação, e seleção de tecnologia e fornecedores.	Engenharia de instalações. Expansões tecnicamente assistidas. Engenharia de detalhamento.	Alongamentos sistemáticos de capacidade. Manipulação de parâmetros-chave de processo. Novas técnicas organizacionais (TQC/M, ZD, JIT).	Aprimoramentos sistemáticos em especificações dadas. 'Engenharia reversa' sistemática. Desenho e desenvolvimento de aços tecnicamente assistidos. Desenvolvimento de especificações próprias.	Reforma de grandes equipamentos (ex.: AF) sem assistência técnica. Engenharia reversa de detalhe e básica. Manufatura de grandes equipamentos.
(5) Intermediário	Monitoramento completo, controle e execução de estudos de viabilidade, busca, avaliação, seleção, e atividades de financiamento.	Engenharia básica de plantas individuais. Expansão da planta sem assistência técnica. Provisão intermitente de assistência técnica.	Aprimoramento contínuo de processo. Desenho de sistemas automatizados estáticos. Integração de sistemas automatizados de processo e PCP. Alongamento rotinizado de capacidade.	Aprimoramento contínuo em especificações próprias. Desenho, desenvolvimento, manufatura e comercialização, de aços complexos e de alto valor sem assistência técnica. Certificação para desenvolvimento de produto (ex.: ISO 9001).	Continua engenharia básica e de detalhe e manufatura de plantas individuais (ex.: AF, Sinter). Manutenção preventiva.
(6) Intermediário Superior	Elaboração e execução próprias de projetos. Provisão de assistência técnica em decisões de investimentos.	Engenharia básica da planta inteira. Provisão sistemática de assistência técnica em estudos de viabilidade, engenharia de aquisição, de detalhe, básica, e partida da planta.	Integração entre sistemas operacionais e sistemas corporativos. Engajamento em processos de inovação baseados em pesquisa e engenharia.	Adição de valor a aços desenvolvidos internamente. Desenho e desenvolvimento de aços extra complexos e de alto valor agregado. Engajamento em projetos de desenho e desenvolvimento com usuários.	Continua E básica e detalhe de equipamento para planta inteira de aço e/ou componentes para outras indústrias. Assistência técnica (ex.: reforma de AF) para outras empresas.
(7) Avançado	Gestão de projetos de classe mundial. Desenvolvimento de novos sistemas de produção via P&D.	Engenharia de classe mundial. Novos desenhos de processos e P&D relacionado.	Produção de classe mundial. Desenhos e desenvolvimento de novos processos baseados em E e P&D.	Desenho e desenvolvimento de produtos em classe mundial. Desenho original via E, P e D.	Desenho e manufatura de equipamentos de classe mundial. P&D para novos equipamentos e componentes.

Fonte: Figueiredo (2005)

A aplicação empírica dos modelos de Figueiredo (2005) apresentada no Gráfico 1 permite levantar questões que conduzem a uma estratégia de inovação industrial focada e coerente, tanto no âmbito de empresas como de setores industriais ou até mesmo de um país.

Gráfico 1 – Modelo ilustrativo de trajetória de acumulação de capacidade tecnológica em empresas de economias emergentes (escala de capacidades tecnológicas).



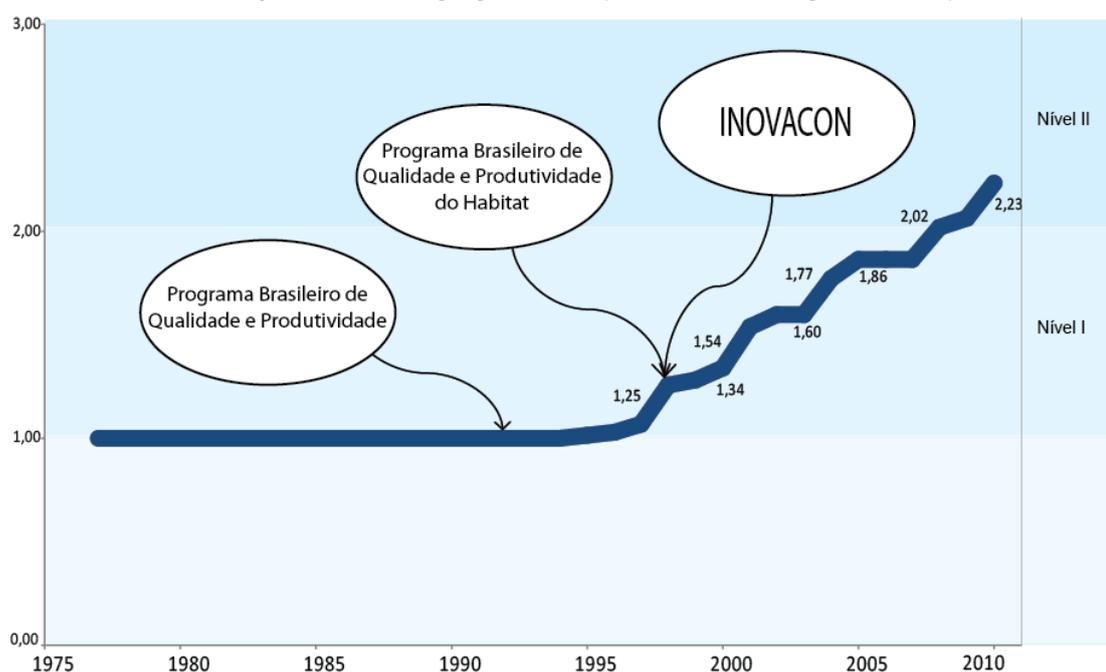
Fonte: Figueiredo (2005)

A pesquisa de Ribeiro (2009) analisou o da companhia. A matriz desenvolvida por Ribeiro (2009), é composta por colunas, associadas aos níveis de capacitação: básica, intermediária e avançada); as linhas continham as seguintes funções: engenharia básica, engenharia de detalhamento, fabricação de equipamentos, construção e montagens e utilização de UEP, referentes a um diversificado grupo de empresas. O autor abordou sete modalidades de aprendizagem tecnológica e fez uma associação entre as atividades tecnológicas da plataforma e os mecanismos de aprendizado: tecnologias de nível básico (o *learning by doing* e o *learning by using*), intermediário (o *learning by adapting*, o *learning by design* e o *learning by setting up complete production system*) e avançado (o *learning by improved design* e o *learning by designing new process*).

Sato e Fujita (2009) desenvolveram um modelo para analisar as capacidades de empresas de países em desenvolvimento que participam de cadeias de valor globais e nacionais. Essa estrutura genérica busca capturar a acumulação de conhecimento em nível de empresarial no contexto de constelações industriais globais e locais, integrando elementos-chave da cadeia de valor global e abordagens de capacidades tecnológicas. A matriz efetuada por pelos autores abrange funções de Planejamento (como pesquisa de mercado, novos conceitos de produto, e produto criado de acordo com demanda de mercado), Produção (subdivididas em funções de Equipamentos, Gerenciamento da Produção) e Marketing; as linhas estão dispostas de acordo com o grau de complexidade: operacional (opera a tecnologia existente), assimilativo (domina a tecnologia existente e mantém a operação ao longo do tempo), adaptativo (realiza melhorias na tecnologia existente) e inovativo (cria algo novo com número significativo de elementos originais e novos quando comparados com tecnologia existente).

A pesquisa de Freitas e Heineck (2014) investigou os benefícios da associação de empresas do setor da construção civil em redes de aprendizagem no que se refere a acumulação de capacidades tecnológicas. Nesse trabalho a rede funciona por meio da contratação de consultores nacionais, da promoção de intervenções nas empresas participantes e da divulgação dos resultados sobre a implementação de novas técnicas entre as empresas participantes. A pesquisa identificou a trajetória tecnológica das empresas de acordo com três funções tecnológicas: processo e organização da produção; projeto; e equipamentos. As funções foram analisadas a partir de atividades que as empresas eram capazes de fazer e classificadas em cinco níveis tecnológicos: nível 1: rotineiro básico; nível 2: rotineiro avançado; nível 3: inovador básico; nível 4: inovador intermediário; e nível 5: inovador avançado. Os pesquisadores calcularam a performance inovadora (índice agregado de acumulação tecnológica) considerando o nível tecnológico que a empresa ocupava em cada ano e em cada função, ponderando-se esse índice pelos seguintes pesos: processo e organização da produção (50%); projeto (35%); e equipamentos (15%). A trajetória tecnológica é visualizada por uma curva ao longo do tempo, que mostra como o índice agregado de acumulação tecnológica evoluiu (Gráfico 2).

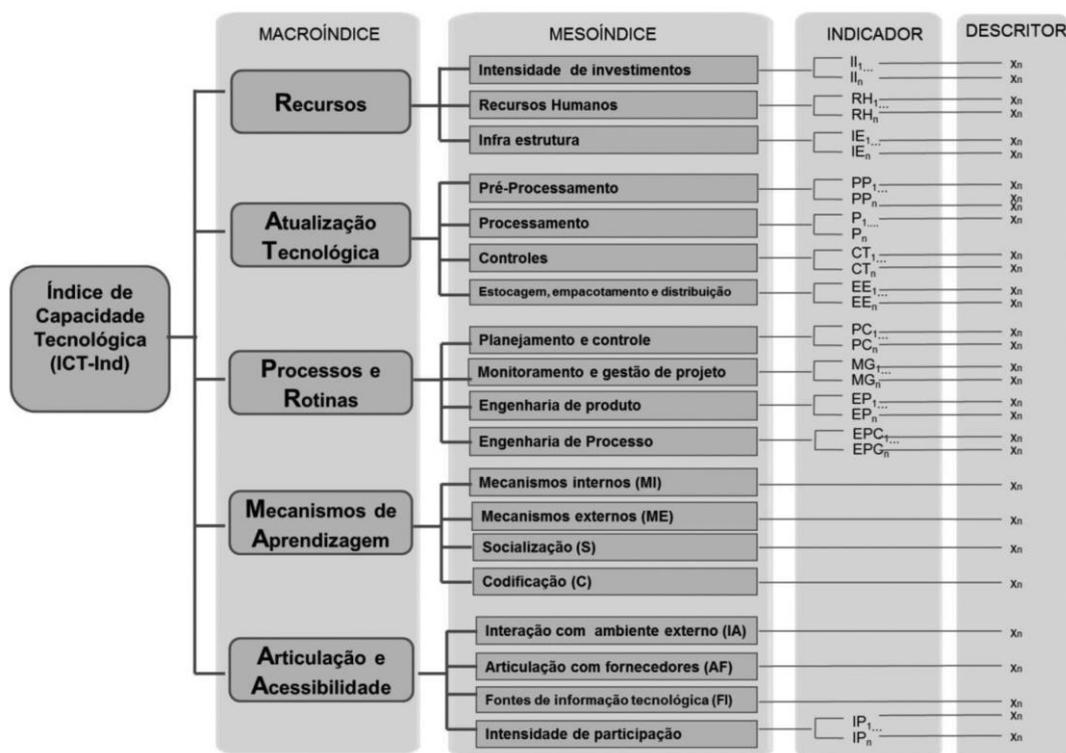
Gráfico 2 – Evolução do índice agregado de capacidade tecnológica das empresas da amostra.



Fonte: Freitas e Heineck (2014)

Mori *et al.* (2014) produziu um modelo de mensuração de CTs e aplicou-o em empresas do complexo agroindustrial tríticola. O modelo consistiu em uma arquitetura de índices desenvolvida através de revisão bibliográfica e entrevistas com especialistas. O conjunto de pesos que compõem o índice foi determinado pela utilização do método *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Os índices contemplam cinco macroelementos, decompostos em mesoelementos e microelemento, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Arquitetura do índice de capacidade tecnológica.



Fonte: Mori (2014)

Observa-se na Tabela 1 o conjunto de pesos obtido para os macroíndices nos diferentes segmentos da pesquisa. O macroíndice Recursos foi considerado como componente de maior importância ao estímulo das capacidades tecnológicas da empresa. A Tabela 2 mostra os índices de capacidade tecnológica calculados.

Tabela 1 – Conjunto de pesos dos macroíndices.

Macroíndices e mesoíndices	Agrícola (%)	Moagem (%)	Massa (%)
RECURSO (RE)	33,7	35,2	43,7
ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA (AT)	37,2	17,0	17,1
PROCESSOS E ROTINAS (PR)	13,0	28,9	21,9
MECANISMOS DE APRENDIZAGEM (MA)	9,3	13,3	12,8
ARTICULAÇÃO E ACESSIBILIDADE (AA)	6,8	5,6	4,4

Fonte: Mori (2014)

Francelino (2016), verificou os impactos tecnológicos de programas de aquisição de aeronaves militares em três grupos de beneficiários: o COMAER, a Embraer, e o segmento de pequenas e médias empresas de usinagem de peças aeronáuticas. A autora investigou o processo de acumulação de capacidades organizacionais no COMAER, bem como os impactos técnicos sobre a Embraer, e

modelou uma matriz de avaliação dos Impactos em Capacidades Tecnológicas, que foi o princípio do estudo do Modelo de Referência para o Segmento de Usinagem Aeronáutica, que possibilitou ainda analisar a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas em empresas que cooperaram em diversos programas de defesa. A pesquisa identificou as seguintes funções: Técnicas (Engenharia de Manufatura, Desenvolvimento do Produto); Organizacionais (Gestão da Produção, Gestão de Projetos, Gestão da Inovação, Gestão da Cadeia de Suprimentos); e Funções de Sustentação (Gestão da Acumulação de Capacidades Tecnológicas, Diversificação, Capacidade de Atuação Global, Networks Formais de Desenvolvimento).

Jeevanunta *et al.* (2017) investigaram as estratégias de gestão de recursos humanos em atividades de coordenação e inovação em três empresas petrolíferas da Tailândia reconhecidas pela excelência em programas de gestão de pessoas. Os autores verificaram que a boa gestão de capital humano para o desenvolvimento dos funcionários é fundamental para a ampliação da inovação e capacidades tecnológicas. A pesquisa abordou a gestão de recursos humanos em três aspectos: recrutamento e seleção, treinamento e desenvolvimento e retenção e compreensão. O trabalho verificou que todas as empresas usam o modelo 70:20:10 onde 10% aprendem com o treinamento (interno, externo e internacional), 20% aprendem com o *feedback* e monitoramento do supervisor ou treinador e 70% aprendem com as atribuições do projeto ou por compartilhar o conhecimentos e habilidades com colegas.

Outro aspecto observado no trabalho de Jeevanunta *et al.* (2017) é que as empresas avaliam o desempenho dos funcionários utilizando o sistema KPI (*Key Performance Indicator*). Funcionários excepcionais em termos de solução de problemas e inovação são recompensados por meio de promoções e desenvolvimento de planos de carreira opcionais. Duas empresas do estudo recrutaram e colaboraram com universidades e institutos líderes de pesquisa, fornecendo financiamento, bolsas de estudos e envio de pesquisadores para laboratórios locais e no exterior. Além disso, fornecem bolsas de mestrado e doutorado para seus funcionários nas principais universidades locais e internacionais.

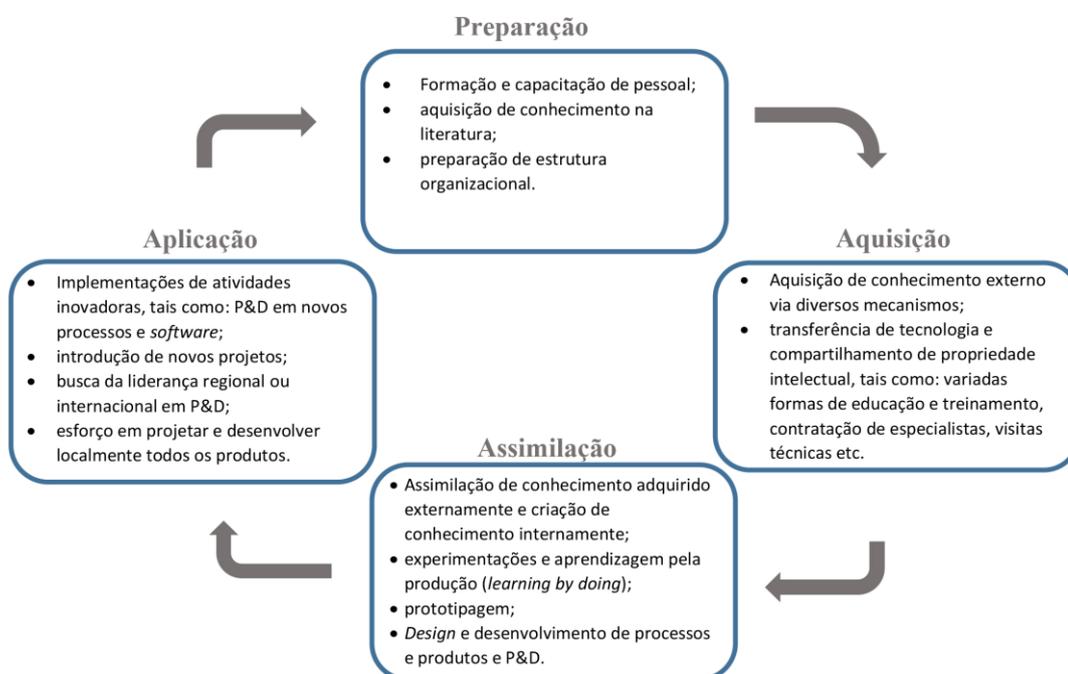
Quatro níveis crescentes de capacidades tecnológicas foram adotados por Jeevanunta *et al.* (2017): P&D, Atualização Tecnológica e Engenharia Reversa, Aquisição e Assimilação Tecnológica, e Uso e Operação de Tecnologias. A partir

disso, concluíram que para passar para o primeiro nível de uso e operação de tecnologia, as empresas precisam de treinamento de parceiros e fornecedores; em segundo lugar, para aquisição e assimilação tecnológica, as empresas precisam de sistema de recrutamento específico e planos específicos de treinamento e desenvolvimento; as empresas precisam de equipes multifuncionais e baseadas em projetos para inovação antes que possam passar do segundo nível para o terceiro nível (atualização tecnológica e engenharia reversa). Por último, para se tornar um centro de P&D, as empresas precisam de pessoas altamente qualificadas (com mestrado e doutorado) para efetivação de P&D, tanto internas à firma como externas.

Barraza *et al.* (2018) determinaram as CTs de pequenas e médias empresas da indústria aeroespacial do México. Para isso, desenvolveram um modelo matemático para estimar o índice de CT por meio de variáveis que medem quatro elementos: Eficácia de Uso (Capacidade de realizar, usar e controlar tecnologias de conversão dos processos principais e auxiliares), Avaliação ou Qualidade (Capacidade de realizar garantia de qualidade e inspeção e controle de estoque) Melhoria ou Manutenção (Capacidade de resolução de problemas, melhoria aplicada à manutenção preventiva, estabelecimento de manutenção brusca e de rotina) e Planejamento de produção (Capacidade de realizar planejamento de produção e programação de manutenção de equipamentos).

Dal Bello *et al.* (2020) estudaram a acumulação de CTs inovadoras e o papel dos processos subjacentes de aprendizagem tecnológica no contexto de dois projetos do Exército do Brasil. Os pesquisadores basearam-se em evidências empíricas primárias e secundárias, em uma escala de níveis de CTs e em um modelo de processos de aprendizagem tecnológica (Figura 4). O avanço da acumulação de CTs foi constatado no trabalho de Dal Bello *et al.* (2020) em atividades inovadoras, como: prototipagem, design e P&D. As CTs foram acumuladas através de esforços deliberados e eficazes em mecanismos de aprendizagem utilizados, de forma cíclica, em quatro etapas cumulativas: preparação; aquisição de conhecimento externo; assimilação de conhecimento adquirido externamente e criação de conhecimento internamente; e aplicação em atividades inovadoras.

Figura 4 - Modelo de ciclo de aprendizagem tecnológica subjacente à acumulação de CT inovadoras.



Fonte: Dal Bello (2020)

Feng *et al.* (2020) usaram o método AHP para construir um sistema de indicadores de análise de capacidade tecnológica para indústria de alta tecnologia, de modo a identificar a influência das capacidades tecnológicas essenciais da indústria de alta tecnologia na vantagem competitiva. A pesquisa analisou a CT em função de três funções: Capacidade de Inovação Tecnológica (proporção de capital humano que atua em P&D, proporção de capital humano com mestrado e doutorado que atua em P&D, proporção de capital humano com mestrado e doutorado que atua em P&D, proporção de capital humano de P&D com títulos profissionais seniores entre o pessoal de P&D, proporção do investimento em P&D em relação à receita total, proporção de fundos nacionais de pesquisa científica em relação à renda total, proporção dos ativos do laboratório em relação aos ativos totais), produtividade da indústria de ciência e tecnologia (proporção do investimento industrial em relação ao total de investimento da empresa, proporção da renda industrial em relação à renda total, proporção da receita do contrato do projeto em relação à receita total, participação de mercado dos principais produtos, margem de lucro das vendas dos

produtos principais, nível do equipamento de produção principal) e capacidade de produção de produtos de alta tecnologia (taxa de produção anual de realizações científicas e tecnológicas, prêmio anual para realizações científicas e tecnológicas, número de aprovações de patentes por ano, transferência de conquistas científicas e tecnológicas, proporção da receita técnica). O resultado mostrou que se as indústrias de alta tecnologia continuarem a realizar inovação e pesquisa científica, as empresas manterão suas vantagens competitivas. Em suma, explorar o impacto das capacidades tecnológicas essenciais das indústrias de alta tecnologia nas vantagens competitivas das empresas é muito significativo para melhorar sua competitividade e *status* industrial, o que permite que sejam invencíveis em um ambiente complexo.

O Quadro 4 apresenta uma síntese das funções e métodos usados nos trabalhos descritos acima, que nortearam a construção da arquitetura da ferramenta de mensuração da capacidade tecnológica em empresas do subsetor edificações, objeto desta dissertação.

Quadro 4 - Resumo das características dos sistemas de mensuração de CT encontrados na literatura.

Autores	Funções	Método
Lall (1992)	capacidades de investimento, capacidades de produção e capacidades de ligação com a economia	Desenvolvimento de matriz de acumulação de CTs com níveis de complexidade tecnológica.
Bell (1995)	Atividades de Investimento, Oferta de Bens de Capital, Atividades de Produção e Atividades e Ligação	Desenvolvimento de matriz de acumulação de CTs com níveis de complexidade tecnológica.
Biggs et al. (1995)	capacidades de investimento, produção e aprendizagem.	Construção de indicadores isolados de CT.
Neves (2000)	Qualificação dos Recursos Humanos; Controle de Produção; e Utilização e Acesso a Tecnologias.	Utilização de índices, formados pelo somatório de escores em uma escala de 1 a 5 para avaliação das CTs
Yam et al. (2004)	Capacidade de aprendizagem, Capacidade de P&D, Capacidade de Alocação de Recursos, Capacidade de Fabricação, Marketing, Capacidade de Organização e Capacidade de Planejamento Estratégico.	Estrutura de estudo de auditoria de inovação; escala de pontos e cálculo de média para cada tipo de CT.
Figueiredo (2002)	Tomada de Decisão e Controle do Usuário da Instalação; Engenharia de Projeto; Processo e Produção na Organização; Centralidade no Produto; e Equipamentos.	Desenvolvimento de matriz de acumulação de CTs com níveis de complexidade tecnológica.
Figueiredo (2005)	Investimentos, Processos e Organização da Produção, Produtos e Equipamentos.	Desenvolvimento de matriz de acumulação de CTs com níveis de complexidade tecnológica.
Sato e Fujita (2009)	Planejamento, Produção e Marketing.	Desenvolvimento de matriz de acumulação de CTs com níveis de complexidade tecnológica.
Freitas e Heineck (2014)	Processo e Organização da Produção; Projeto; e Equipamentos.	Análise (por meio do cálculo de índices agregados de acumulação de CTs) da performance inovadora de empresas inseridas em uma rede de aprendizagem.
Mori et al. (2014)	Recursos, Atualização Tecnológica, Processos e Rotinas, Mecanismos de Aprendizagem, Articulação e Acessibilidade.	Elaboração de Índices com base no método <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP).
Francelino (2016)	Capacidades Técnicas (Engenharia de Manufatura, Desenvolvimento do Produto); Capacidade Organizacionais (Gestão da Produção, Gestão de Projetos, Gestão da Inovação, Gestão da Cadeia de Suprimentos); Funções de Sustentação (Gestão da Acumulação de Capacidades Tecnológicas, Diversificação, Capacidade de Atuação Global, <i>Networks</i> Formais de Desenvolvimento).	Desenvolvimento de matriz de acumulação de CTs com níveis de complexidade tecnológica.
Jeevanuntha et al. (2017)	P&D, Atualização Tecnológica e Engenharia Reversa, Aquisição e Assimilação Tecnológica, e Uso e Operação de Tecnologias.	Construção de indicadores isolados através de entrevistas.
Barraza et al. (2018)	Eficácia de Uso, Avaliação ou Qualidade, Melhoria ou Manutenção e Planejamento de produção.	Uso de análise fatorial para identificação de capacidades tecnológicas.
Dal Bello et al. (2020)	Preparação; Aquisição de Conhecimento Externo; Assimilação de Conhecimento Adquirido Externamente e Criação de Conhecimento Internamente; e Aplicação em Atividades Inovadoras	Desenvolvimento de matriz de acumulação de CTs com níveis de complexidade tecnológica.
Feng et al. (2020)	Capacidade de Inovação Tecnológica, Produtividade da Indústria de Ciência e Tecnologia, e Capacidade de Produção de Produtos de Alta Tecnologia	Construção de um sistema indicadores de análise de capacidade tecnológica com base no método AHP.

Fonte: Autor.

As variáveis empregadas nas matrizes de mensuração da CT analisadas nesse tópico foram a base para a montagem do modelo teórico utilizado nessa dissertação. Nesse sentido, destaca-se:

a) os trabalhos adotaram níveis de complexidade (LALL, 1992; BELL, 1995; FIGUEIREDO, 2002; FIGUEIREDO, 2005; SATO e FUJITA, 2009; FRANCELINO, 2016 DAL BELLO *et al.*, 2020), avaliações subjetivas (YAM *et al.*, 2004) ou índices com funções compostas por variáveis (NEVES, 2000; FREITAS e HEINECK, 2014;

MORI, 2014; FENG *et al.*, 2020) para a descrição de parâmetros. Esta pesquisa optou pelo uso de índices em virtude de sua configuração quantitativa favorecer o monitoramento de informações;

b) este trabalho adotou uma abordagem funcional, definindo as variáveis conforme as com funções, de acordo com a estratégia usada pela maioria dos autores (LALL, 1992; BELL, 1995; NEVES, 2000; FIGUEIREDO, 2002; FIGUEIREDO, 2005; SATO e FUJITA, 2009 MORI, 2014; FRANCELINO, 2016 DAL BELLO *et al.*, 2020; FENG *et al.*, 2020);

c) as funções de CT dos estudos foram construídas de acordo com o tipo de atividade econômica desenvolvida, por isso, as funções deste trabalho visam refletir as particularidades do subsetor edificações;

d) Alguns dos parâmetros mais usados, embora com nomenclaturas variadas, foram: Gestão/Planejamento/Organização da Produção; Investimento; Marketing; Aprendizagem; Utilização/Acesso/Atualização Tecnológica; Desenvolvimento de Produto/Pesquisa/Inovação. Estas funções constituem a base da matriz teórica desta pesquisa.

Com relação aos conceitos de CT extraídos desses trabalhos e aplicados na elaboração dessa matriz preliminar, observa-se que:

a) devido ao caráter difuso que é próprio da definição de CT, sua constituição deve considerar diversas estruturas e funções da organização, como por exemplo: desenvolvimento de projeto, investimento em CT&I, processos de aprendizagem, controle e qualidade, obtenção de tecnologia e inovação, e etc.;

b) as transformações tecnológicas de uma empresa dependem da integração dos recursos vinculados às diversas funções da organização, da posição da empresa em relação ao seu ambiente externo e de como os conhecimentos existentes contribuem para seu desenvolvimento. Por isso, os elementos não devem ser analisados separadamente ou considerando apenas o produto final;

c) as CTs das organizações estão inseridas em uma função estratégica, haja vista que estão vinculadas a decisões de gerar, adquirir ou adaptar tecnologias e inovações. Além disso, as CTs são observadas na função operacional, por meio dos recursos tecnológicos empregados na produção, e na função de rede de colaboração externa.

3.3. Método *analytical hierarchy process* (AHP)

O método AHP desenvolvido por Saaty (1990) é uma ferramenta eficaz para analisar os critérios que afetam o problema em ambientes intuitivos de tomada de decisão. Por meio de estruturas hierárquicas de vários níveis, os critérios são escalados proporcionalmente uns aos outros por matrizes de comparação, de forma simples e com um processo de solução de fácil implementação para avaliar critérios de forma conjunta e qualitativa (SEVINÇ *et al.*, 2018). O método de AHP é considerado uma forma direta, transparente, eficiente e confiável para análise de decisão multicritério (MACHIWAL *et al.*, 2011).

Conforme Liefner e Jessberger (2016), em comparação a outros métodos, o AHP tem três vantagens adicionais: em primeiro lugar, como os pesos dos critérios são calculados a partir de julgamentos dos especialistas, o pesquisador tem pouca influência nos resultados finais; segundo, o AHP oferece uma maneira de examinar a influência de fatores muito diferentes simultaneamente; em terceiro lugar, a pesquisa empírica subjacente a um AHP, embora produza valor semelhante, incorre menos custo e consome menos tempo em comparação a outras ferramentas. Songur (2018), aponta quatro etapas básicas de implementação usadas no processo de solução do método AHP:

Etapa 1. Definição do problema de decisão e estabelecer a estrutura hierárquica.

A estrutura do problema é definida e os critérios que afetam o problema são determinados. UMA estrutura hierárquica consistindo em mais de um nível é formada para o problema. Para cada problema, uma estrutura hierárquica que consiste em propósito, critério, possíveis níveis de subcritério e alternativas é estabelecido.

Etapa 2. Criação de matrizes de comparação entre os critérios.

O AHP determina os pesos de importância dos critérios por comparações binárias. Quando o binário comparação é feita, a escala criada por Saaty (1990) é usado. Os valores da escala são mostrados no Quadro 5.

Quadro 5 – Escala de importância AHP.

Nível de Importância	Definição
1	Igualmente importante
3	Uma e outra parcialmente
5	Importância básica ou forte
7	Importância muito poderosa
9	Extremamente importante
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: Saaty (1990).

Etapa 3. Cálculo do peso dos critérios.

O próximo estágio do AHP é a criação de matrizes normalizadas. A matriz normalizada é obtida dividindo o valor de cada coluna pela respectiva soma da coluna. Mover-se da matriz normalizada; a média de cada valor de sequência é tirada. Esses valores obtidos são os pesos de importância para cada critério.

Etapa 4. Verificação das razões de consistência das matrizes de comparação.

Após adquirir os pesos, a consistência da matriz de comparação deve ser considerada. Se a matriz de comparação não é consistente, os pesos resultantes não podem ser usados. O vetor ($\lambda_{máx}$) deve que fornece igualdade ($A \cdot w = \lambda_{máx} \cdot w$) deve primeiro ser obtido. Onde "A" é a matriz comparação e "w" é a matriz de peso obtida. Com a equação $IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1}$ obtém-se o índice de consistência (IC). O valor de $\lambda_{máx}$ é obtido dividindo o vetor de peso pelos respectivos valores relativos. Após calcular o valor do IC, outro valor que precisa ser obtido é o índice aleatoriedade (IA). Este valor é tabulado para diferentes tamanhos de matriz. Finalmente, uma "razão de consistência (RC)" é obtida com a razão de IC para IA. Uma RC menor que 0,1 indica que a matriz é consistente. Caso este valor seja ultrapassado, os julgamentos devem ser revisados novamente. O índice de aleatoriedade IA varia de acordo com o valor n (o tamanho da matriz de comparação).

Portanto, não é surpreendente que o AHP tem sido usado com frequência em muitas disciplinas e para vários objetivos, como por exemplo, transição de empresas para a Indústria 4.0 (SEVINÇ *et al.*, 2018), avaliação de tecnologias (KHEYBARI *et al.* (2019), avaliação de projetos de empreendedorismo tecnológico (DURMUŞOĞLU,

2018), indústria têxtil (PIPRANI *et al.*,2020) e análise química de poluentes em recursos hídricos (WANG E YEAP, 2021).

Diversos estudos usaram o AHP para identificar pesos relativos de indicadores e subíndices, por exemplo, índices de turismo (TONGQIAN *et al.*, 2016), recursos e avaliação de eficiência ambiental (LI e ZHANG, 2015), índices de privação para analisar desigualdades em saúde (CABRERA-BARONA *et al.*, 2015) e índice de desenvolvimento de água e meio ambiente (KANG *et al.*, 2016; SUTADIAN *et al.*, 2016).

Várias desvantagens do AHP também foram discutidas exaustivamente por alguns pesquisadores. Por exemplo, Warren (2004) identificou incertezas de aspectos teóricos no AHP, como interpretação incorreta da escala e o fundamento axiomático. Com relação à escala de pontos e ao processo de agregação a ser usado, Ishizaka *et al.* (2011) apontaram que havia diferentes escalas de pontos de preferência concorrentes e métodos de agregação a serem usados dentro do AHP.

Logo, diferentes escolhas de escalas de pontos e métodos de agregação levarão a diferentes valores de peso. Apesar das desvantagens acima discutidas do AHP, as vantagens superam as desvantagens e, portanto, o AHP é uma ferramenta atraente que pode ser usada para estabelecer pesos de diferentes parâmetros das funções de acumulação de CTs. O AHP será usado neste trabalho devido às suas vantagens, já expostas ao longo desse tópico, e por ter apresentado resultados satisfatórios em outros modelos de mensuração de CTs, já estudados no item 3.2.2 deste capítulo,

4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa utilizou o método dedutivo (ARAGÃO e NETA, 2017), pois parte da análise conceitual geral de aplicação de modelos de mensuração da CT em indústrias distintas para o desenvolvimento de uma ferramenta para análise da acumulação de CTs no subsetor de construção de edifícios. Além disso, o trabalho possui caráter de investigação aplicada, já que pretende validar uma ferramenta para uso (BOTELHO e CRUZ, 2013). Com relação à natureza da pesquisa, o trabalho tem caráter instrumental e descritivo (MARCONI e LAKATOS, 2017), por apresentar características de determinada população e certo fenômeno.

Acerca da fonte dos dados, fez-se uso de pesquisa bibliográfica (BOTELHO e CRUZ, 2013), na construção do aporte teórico, e de pesquisa de observação, para definição de indicadores. A presente dissertação faz uso de técnicas de pesquisa verificadas no trabalho de Marconi e Lakatos (2017): documentação indireta (pesquisa bibliográfica, abrangendo a busca de bibliografia já tornada pública em relação ao tema a fim de identificar o estado da arte concernente ao assunto); observação direta intensiva (coleta de dados mediante questionário, ocorrida na etapa de consulta aos especialistas).

4.2 Procedimentos metodológicos

A elaboração desta dissertação compreendeu três etapas:

Etapa I: estabelecimento de uma estrutura teórica com base na revisão de literatura e validação dos parâmetros em pesquisa observacional com especialistas da cadeia produtiva do subsetor edificações.

Etapa II: julgamento de parâmetros, com base no método AHP, por especialistas do subsetor edificações; cálculo dos índices da matriz.

Etapa III: aplicação da ferramenta desenvolvida em construtoras de edificações.

Quadro 6 – Etapas da pesquisa

Etapa	Atividade	Método de Execução da Atividade	Descrição da Atividade	Objetivo da Pesquisa Atendido
Etapa I	Pesquisa Bibliográfica	Revisão de literatura (artigos, livros, sites especializados)	1 - Caracterização do subsetor edificações e da sua dinâmica tecnológica. 2 - Análise da inovação tecnológica e dos modelos de mensuração de acumulação das CTs em várias indústrias. 3 - elaboração de matriz teórica de acumulação de CTs.	Sistematizar informações para a construção de indicadores para integrarem uma matriz teórica de acumulação de CTs para o subsetor edificações.
	Pesquisa Observacional I	Realização de entrevistas com especialistas do setor	1 - Elaboração do roteiro da entrevistas. 2 - Seleção de especialistas de alta qualificação das cadeias produtivas do subsetor edificações e agendamentos de entrevistas, que ocorrerão por meio de plataforma digital. 3 - Realização de entrevistas para montagem e validação de indicadores (6 entrevistados). 4 - Aplicação do teste de hipótese para análise das informações e variáveis de relevância para consolidação de indicadores para compor a matriz final da ferramenta de análise da CT deste trabalho.	Validar indicadores para integrarem uma matriz consolidada de acumulação de CTs para o subsetor edificações.
Etapa II	Pesquisa Observacional II	Análise de critérios por comparações binárias (realizada pelos especialistas).	1 - Elaboração da matriz final da ferramenta. 2 - Seleção dos profissionais vinculados à cadeia produtiva do subsetor edificações e agendamentos de orientações, que ocorreram por meio de plataforma digital. 2 - Envio das matrizes por e-mail para aplicação do AHP (5 participantes). 4 - Recebimento das matrizes analisadas.	Hierarquizar indicadores da ferramenta de mensuração da acumulação de CTs por meio de comparações binárias, de acordo com escala de importância do método AHP.
	Cálculo de indicadores	Aplicação do Método AHP	1 - Normalização da matriz e aferição do conjunto de pesos.	Calcular o peso dos indicadores da ferramenta para estabelecer sua hierarquização e verificar as razões de consistência das matrizes de comparação por meio do método AHP
Etapa III	Pesquisa Observacional III	Aplicação da ferramenta em empresas do subsetor edificações	1 - Aplicação da ferramenta em 3 construtoras de edificações; 2 - Processamento de dados, cálculo da acumulação de CTs.	Aplicar a ferramenta proposta de mensuração da CT

Fonte: autor.

A seguir, descrevem-se os procedimentos usados nas pesquisas observacionais para a construção da ferramenta proposta.

4.2.1 Pesquisa observacional

Para a execução da primeira pesquisa observacional, um roteiro de entrevista foi elaborado (Apêndice A) e contemplou as principais funções sistematizadas na revisão bibliográfica (capítulos 2 e 3). Um pré-teste foi realizado com voluntários, visando a verificação da aplicabilidade da entrevista e seu tempo de execução. Após concluir que o roteiro de entrevistas possuía consistência para aplicação, procedeu-

se a realização das entrevistas, avaliando-se a totalidade dos parâmetros, em todos os níveis, por seis especialistas em construção de edifícios e inovação tecnológica. No processo avaliativo foi verificada a pertinência de cada função, elemento e indicador como critério de avaliação das CTs no subsetor edificações. O roteiro da entrevista foi desenvolvido com perguntas que contemplaram uma escala de níveis para avaliar o impacto dos parâmetros selecionados e com perguntas abertas que visam a descrição dos indicadores. Devido à elevada quantidade de informações que se buscou coletar, optou-se por subdividir a entrevista⁶ em um intervalo de dias que tornasse a atividade pouco cansativa. A medida objetivou a manutenção da qualidade das respostas fornecidas.

A identificação de profissionais com atuação no subsetor edificações foi efetuada tendo como base o banco de dados de grupos de pesquisa de instituições públicas e privadas de fomento à inovação tecnológica no subsetor edificações, da base plataforma Lattes/CNPq. Compôs-se uma listagem de profissionais identificados por uma nomenclatura própria da pesquisa, formação, área de atuação e experiência. Procedeu-se a seleção destes profissionais considerando as áreas de interesse da pesquisa e realizou-se o agendamento das entrevistas.

Os critérios usados para a seleção dos profissionais foram: formação na área de construção civil, atuação acadêmica, científica e no mercado de trabalho (especialmente em planejamento e controle de obras, gestão da qualidade na construção de edifícios, sistemas construtivos, inovação tecnológica na construção de edifícios, desenvolvimento de materiais). O perfil de cada um dos seis especialistas entrevistados é apresentado no Apêndice F. As entrevistas foram realizadas no período de novembro de 2021 a janeiro de 2022, através da plataforma *google meet*.

4.2.1.1 Aplicação dos Testes de Hipóteses

Para a verificação da pertinência de cada parâmetro levantado na revisão bibliográfica, e ainda visando adicionar outros elementos, este trabalho utilizou os

⁶ Andreadis e Kartsounidou (2020), ao analisarem o impacto na divisão de um questionário longo na qualidade das respostas, verificaram que ao subdividir um questionário é possível aumentar a qualidade dos dados coletados.

métodos de Testes de Hipóteses. O objetivo do teste estatístico de hipóteses é fornecer uma metodologia que permita verificar se os dados amostrais trazem evidências que apoiem ou não uma hipótese (estatística) formulada (BUSSAB e MORETTIN, 2010). Bussab e Morettin (2010) sintetizam o processo de análise do teste de hipótese em cinco passos:

- I. Fixação da hipótese H_0 (sendo H_0 a hipótese a ser testada) e hipótese H_1 (sendo H_1 a hipótese alternativa a H_0).
- II. Uso da teoria estatística e das informações disponíveis para decidir qual estatística (estimador) será usada para testar a hipótese H_0 . Em seguida, deve-se obter as propriedades dessa estatística (distribuição, média, desvio padrão).
- III. Fixação da probabilidade α de cometer um erro de análise, classificando esse erro como erro tipo I, e usar este valor para construir a região crítica (regra de decisão). Essa região é construída para a estatística definida no anterior, usando os valores do parâmetro hipotetizados por H_0 .
- IV. Usar as observações da amostra para calcular o valor da estatística do teste.
- V. Se o valor da estatística calculado com os dados da amostra não pertencer à região crítica, não rejeite H_0 ; caso contrário, rejeite H_0 .

Primeiramente, foram definidas as hipóteses usadas nesse trabalho:

$H_0: P$ não é relevante

versus

$H_1: P$ é relevante.

Em que P é o parâmetro analisado em cada variável do estudo. A estatística a ser usada é a média (ou proporção) μ_0 observada da avaliação de cada parâmetro pelos especialistas. Para fazer a média, considerou-se uma opção binária de 0 e 1, onde a citação do parâmetro significa 1 e a não citação do parâmetro significa 0 (Quadro 7).

Quadro 7 - Exemplo do processamento do questionário da Fase I.

Especialista	Internet das coisas		
	Monitoramento de Materiais	Monitoramento de Mão de Obra	Monitoramento de Processos
ESP-01	1	1	1
ESP-02	1	1	0
ESP-03	1	1	1
ESP-04	1	1	1
ESP-05	1	1	1
ESP-06	1	1	1
Média	1	1	0,83

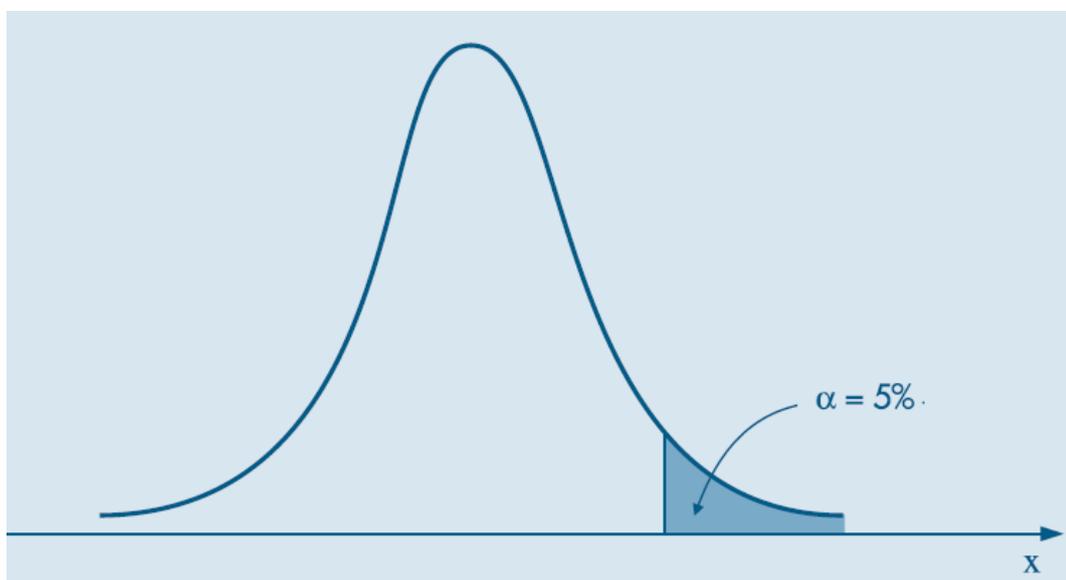
Fonte: autor.

Fixou-se $\alpha = 0,05$ (5% o nível de significância) sob a suposição de que H_1 seja verdadeira, o que forneceu a Região Crítica (RC) (Figura 5) descrita pela Equação 1.

$$W_i = RC = \{\mu_0 > K\}$$

Equação 1

Figura 5 - Região Crítica para teste $H_1 \in RC$: é relevante.



Fonte: autor.

Dessa forma, a probabilidade de μ_0 pertencer a região crítica dado que H_0 é verdadeira é de 5%, isto é, rejeita-se H_0 quando sua probabilidade de ser verdadeira seja menor que 5%. Posteriormente aplicou-se a distribuição beta com o objetivo de

modelar o comportamento das variáveis aleatórias que possuem limite em intervalos de tamanho finito. Assim, o valor de K foi obtido com base na supracitada distribuição considerando-se um grau de 95% de confiança. Para isso, usou-se a função densidade de probabilidade (FDP) da distribuição beta com parâmetros $\alpha > 0$ e $\beta > 0$ de acordo com a Equação 2.

$$f(x; \alpha; \beta) = \begin{cases} \frac{1}{B(\alpha, \beta)} X^{\alpha-1} (1 - X)^{\beta-1}, & 0 < X < 1 \\ 0 & \text{outros casos} \end{cases} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo $B(\alpha, \beta)$ a função beta, definida pela Equação 3.

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 X^{\alpha-1} (1 - X)^{\beta-1} dx. \quad \text{Equação 3}$$

Por fim, deve-se realizar o mesmo procedimento para cada variável do estudo, as que tiveram o valor da estatística de teste na região crítica foram consideradas como de parâmetro significativo, isto é, evidência de ser relevante. Por outro, as que tiveram o valor da estatística fora da região crítica (ou região de aceitação de H_0) foram consideradas não significativas, ou seja, não há evidência do parâmetro ser relevante.

4.2.2 Pesquisa observacional II

As funções, e seus demais níveis, validadas na Pesquisa observacional I foram analisadas por 5 (cinco) especialistas que realizaram o julgamento de importância dos parâmetros de acordo com a escala de importância do Método AHP. A identificação de profissionais com atuação no subsetor edificações foi efetuada tendo como base o banco de dados de grupos de pesquisa de instituições públicas e privadas de fomento à inovação tecnológica no subsetor edificações, da base plataforma Lattes/CNPq. Compôs-se uma listagem de profissionais identificados por uma nomenclatura própria da pesquisa, formação, área de atuação e experiência. Procedeu-se a seleção destes profissionais, considerando as áreas de interesse da pesquisa e realizou-se o agendamento das entrevistas.

Os critérios usados para a seleção dos profissionais foram: formação na área de construção civil, atuação acadêmica, científica e no mercado de trabalho (especialmente em planejamento e controle de obras, gestão da qualidade na construção de edifícios, sistemas construtivos, inovação tecnológica na construção de edifícios, desenvolvimento de materiais). As entrevistas foram realizadas no período de janeiro de 2021 a abril de 2022, através da plataforma digital *Google Meet*. A relação dos entrevistados com seus respectivos perfis é apresentada no Apêndice F.

4.2.2.1 Aplicação do método AHP para hierarquização de indicadores

O cálculo do conjunto de pesos foi realizado através da metodologia de comparação par a par desenvolvida por Saaty (1971). O processo se baseia em uma matriz $n \times n$ de comparação entre os n indicadores em análise, em que as linhas e as colunas correspondem aos indicadores, colocados na mesma ordem para coluna e linha. Assim, os valores a_{ij} da matriz representam a importância relativa do indicador i comparado com o indicador j , sendo que se $a_{ij} = x$ então $a_{ji} = 1/x$ e a diagonal tem sempre um valor unitário ($a_{ii}=1$). Os conjuntos de pesos foram estabelecidos de acordo com as seguintes etapas (RAMOS, 2000):

(a) Construção de matrizes de comparação par a par para o conjunto de macroíndices e para os conjuntos de mesoíndices e de microíndices de cada segmento estudado. Com base nestas matrizes $n \times n$, são atribuídos valores de julgamento de importância, segundo a escala de valoração da Figura 6, par a par.

Figura 6 – Escala de comparação para preenchimento das matrizes de julgamento AHP.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extrema -mente	bastante	muito	pouco	igual	pouco	muito	bastante	extrema -mente
MENOS IMPORTANTE				MAIS IMPORTANTE				

Fonte: autor.

(b) Cálculo do vetor Eigen principal através da Equação 4:

$$W_i = \left[\prod_{j=1}^n a_{ij} \right]^{1/n} / \sum_{k=1}^n \left[\left(\prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{1/n} \right] \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

a_{ij} : é o valor da matriz par a par correspondente à comparação entre o indicador i e indicador j

n : número de indicadores

w_i : peso do indicador i

(c) Cálculo do máximo vetor Eigen. Obtido pela Equação 5:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n w_n \right) \quad \text{Equação 5}$$

Sendo que w'_n é o valor resultante da multiplicação da matriz A de comparação par a par e o vetor obtido na etapa anterior.

(d) Cálculo do índice de consistência (CI), obtido pela Equação 6:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Equação 6}$$

(e) Cálculo do Grau de Consistência (CR). O grau de consistência é obtido pela razão entre o índice de consistência (CI) e o índice de aleatoriedade (RI). Saaty (1991) propõe valores de RI através do cálculo do valor médio de CI obtido por matrizes recíprocas geradas aleatoriamente, assim, os valores de RI, de acordo com o número de indicadores em análise, são os apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Índice de aleatoriedade (RI) para n = 1 ... 15.

n	RI	n	RI	n	RI	n	RI	n	RI
1	0,00	4	0,09	7	1,32	10	1,49	13	1,56

2	0,00	5	1,12	8	1,41	11	1,51	14	1,57
3	0,58	6	1,24	9	1,45	12	1,48	15	1,59

Fonte: Saaty (1991)

Caso o grau de consistência (CR) seja superior a 0,1 ou 10%, é necessário fazer uma reavaliação da matriz de comparação, ou seja, reavaliar os valores definidos na matriz, propondo uma nova matriz de comparação par a par.

A partir dos julgamentos realizados, efetuou-se o cálculo dos pesos com o auxílio do software Excel®, como exemplifica a planilha da Figura 7. No Apêndice C, são apresentados quadros de composição do ICT com os respectivos pesos utilizados para o cálculo.

Figura 7 – Planilha de cálculo dos pesos do índice.

	B	C	D	E	F	G	H	I	
3	ANÁLISE DOS MACROÍNDICES								
4	CRITÉRIOS	SISTEMA DE GESTÃO	ESTÁGIO TECNOLÓGICO	DESENVOLVIMENTO DE CT&I	REDE DE COLABORAÇÃO	APRENDIZAGEM			
5	SISTEMA DE GESTÃO	1,00	0,25	0,33	2,00	0,50			
6	ESTÁGIO TECNOLÓGICO	4,00	1,00	2,00	5,00	5,00			
7	DESENVOLVIMENTO DE CT&I	3,00	0,50	1,00	4,00	5,00			
8	REDE DE COLABORAÇÃO	0,50	0,20	0,25	1,00	1,00			
9	APRENDIZAGEM	2,00	0,20	0,20	1,00	1,00			
10	SOMA	10,50	2,15	3,78	13,00	12,50			
11									
12	MATRIZ NORMALIZADA							SOMA	VETOR EIGEN
13	SISTEMA DE GESTÃO	0,10	0,12	0,09	0,15	0,04	0,49	9,87%	
14	ESTÁGIO TECNOLÓGICO	0,38	0,47	0,53	0,38	0,40	2,16	43,19%	
15	DESENVOLVIMENTO DE CT&I	0,29	0,23	0,26	0,31	0,40	1,49	29,81%	
16	REDE DE COLABORAÇÃO	0,05	0,09	0,07	0,08	0,08	0,36	7,27%	
17	APRENDIZAGEM	0,19	0,09	0,05	0,08	0,08	0,49	9,87%	
18	SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	100%	
19									
20	LAMBDA MÁX	5,23			N	5			
21	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	5,75%							
22	GRÁU DE CONSISTÊNCIA	5,13%							
23									

Fonte: autor.

Para a normalização das variáveis, empregou-se a distância do líder do grupo (FREUDENBERG, 2003) para cada variável, em que se designa valor 1 ao maior valor observado (líder) e se ordena os demais em relação ao valor do líder, de acordo com a Equação 7.

$$\bar{x}_i = \frac{x_i}{x_i^*}$$

Equação 7

Em que: \bar{x}_i variável normalizada

x_i : valor da variável e

x_i^* : valor máximo observado da variável

No caso de variáveis categóricas, optou-se por considerar o maior elemento da escala como valor 1. Por exemplo, na análise do indicador Fundações e Estruturas, o elemento de escala Processo Automatizado II é considerado como o parâmetro de maior nível tecnológico, sendo aplicado ao mesmo o valor 1. O valor dos demais elementos da escala é igual a razão do valor do maior elemento da escala pela quantidade total de elementos multiplicado pela posição do elemento na planilha. Utilizando novamente o indicador Fundações e Estruturas para exemplificar, o elemento de escala Processo Robotizado possui valor igual a 50% do valor do score.

A operacionalização do índice envolve a caracterização de um valor unidimensional a partir da agregação de indicadores normalizados com base em um conjunto de pesos de ponderação de cada variável ou de cada agrupamento (mesoíndice e macroíndice).

O índice é definido pela Equação 8:

$$I = \sum_{i=1}^x w_i \bar{X}_i$$

Equação 8

Em que:

I : Índice,

\bar{x}_i : variável normalizada,

w_i : pesos de X_i , $\sum_{i=1}^x w_i = 1$ e $0 \leq w_i \leq 1$

i : 1, ..., n

4.2.3 Pesquisa observacional III

Nessa etapa foram selecionadas 3 (três) empresas, localizadas na cidade de Teresina-PI e que atuam no subsetor edificações, para aplicação da ferramenta desenvolvida. As empresas foram chamadas de Empresa A, Empresa B e Empresa C com vista a proteger sua identificação. Esta etapa da pesquisa foi desenvolvida através da aplicação de dois questionários. O primeiro questionário é apresentado no Apêndice D e possui o objetivo exclusivo de realizar o levantamento do perfil das empresas do estudo; o segundo questionário é a tradução da ferramenta da pesquisa em perguntas abertas e fechadas para aplicação nas empresas e consequente levantamento de dados (Apêndice E). A amostra é composta por 2 empresas de pequeno porte e 1 empresa de médio porte⁷, todas com atuação apenas em seu estado de origem. As empresas possuem tempo de atuação no mercado variando entre 9 anos a 30 anos, sendo que os tipos de construções executadas são edificações residenciais e comerciais. O Quadro 8 apresenta o perfil das empresas deste estudo, de acordo com levantamento realizado através do questionário do Apêndice D.

Quadro 8 – Perfil das empresas estudadas.

Infomações	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Localização da empresa	Estado do Piauí - Brasil	Estado do Piauí - Brasil	Estado do Piauí - Brasil
Função do colaborador participante da pesquisa.	Coordenação de projetos	Gerente de produção	Engenheiro/Socio-proprietário
Tempo de atuação da empresa (anos).	30	15	9
Região de atuação	Somente em 1 estado.	Somente em 1 estado.	Somente em 1 estado.
Porte da empresa (classificada de acordo com o número de colaboradores)	Médio	Pequeno	Pequeno
Tipo de edificação executada.	Residenciais e Comerciais	Residenciais.	Residenciais e comerciais.

Fonte: autor.

Foi aplicado um questionário com perguntas fechadas e abertas, visando identificar o estágio tecnológico das empresas em relação aos principais elementos responsáveis por transformações tecnológicas. Com o objetivo de compreender o

⁷ O critério usado para esta classificação foi o número de funcionários. Fonte: SEBRAE/DIEESE (2013).

processo de utilização de inovações tecnológicas nas empresas, verificou-se o perfil das inovações adotadas e as estratégias para a adoção de tecnologias;

A ferramenta proposta é composta por vários níveis e tem matriz em árvore com níveis macro (grupo), meso (subgrupo) e micro (indicadores e descritores/elementos da escala). A aplicação da ferramenta gerou um índice, representado pelo somatório ponderado dos níveis. Os indicadores são formados por diferentes perfis de variáveis (Quadro 9).

Quadro 9 – Perfis das variáveis que formam os indicadores.

Tipo de variável		Descrição	Exemplo de aplicação
variáveis quantitativas		Em que o parâmetro é expresso numericamente	% de gasto com CT&I
Variáveis qualitativas	Binárias	Com duas opções para a resposta	Resposta "sim" ou "não" para realização de pesquisa básica
	Compostas por descritores	Segundo nível de complexidade tecnológica ascendente	Estudos de mercado potencial em relação aos produtos e/ou serviços ofertados: "não realiza essa atividade", "verifica a percepção dos clientes", "verifica a percepção de todos os agentes envolvidos"
Variáveis de soma de eventos		Acúmulo de itens para expressar o parâmetro	Somatório de ações para descrever as ações de aprendizagem interna "treinamento de técnicos", "aprendizado devido ao uso de tecnologias", "aprendizagem devido ao desenvolvimento de ciência e tecnologia"

Fonte: autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A matriz teórica do modelo proposto foi desenvolvida conceitualmente a partir das principais funções tecnológicas, em diversos tipos de indústria a nível global, consideradas pertinentes para elevar seu nível de complexidade tecnológica. O modelo foi então adaptado ao subsetor de construção de edificações de modo a fornecer um modelo de referência para o estudo. Este capítulo apresenta os resultados do refinado do modelo e a hierarquização de seus parâmetros, ambas realizadas por meio de entrevistas com especialistas, e que consolidaram a FMCTEED. Além disso, o capítulo mostra os resultados da aplicação da FMCTEED em três construtoras de edificações.

5.1 Matriz proposta com base no referencial teórico

Este tópico atende ao primeiro objetivo específico desta pesquisa: sistematização de informações para a seleção de parâmetros para integrarem uma matriz teórica de acumulação de CTs para o subsetor edificações. As variáveis da arquitetura das matrizes de mensuração da CT estudadas no Capítulo 3 nortearam a montagem do modelo teórico utilizado nessa dissertação.

Portanto, definiu-se cinco grupos principais: Sistema de Gestão, Estágio Tecnológico, Desenvolvimento de CT&I, Redes de Colaboração e Aprendizagem. As funções foram selecionadas de acordo com trabalhos que analisaram a acumulação de CTs em indústrias diversas e adaptadas para a realização desta pesquisa. No Quadro 10 é possível verificar as Funções de Nível I, bem como os autores que fundamentaram a escolha dos parâmetros.

Quadro 10 – Arquitetura proposta do índice de Capacidade Tecnológica (ICT)

	Grupos	Autores
Capacidade Tecnológica no Subsetor Edificações	Sistema de gestão	Neves (2000); Yam <i>et al.</i> (2004); Figueiredo (2005); Sato e Fujita (2009); Mori <i>et al.</i> (2014); Francelino (2016); Barraza <i>et al.</i> (2018).
	Estágio Tecnológico	Figueiredo (2005); Mori <i>et al.</i> (2014)
	Desenvolvimento de CT&I	Lall (1992); Bell (1995); Neves (2000); Biggs <i>et al.</i> (1995); Yam <i>et al.</i> (2004); Figueiredo (2002); Figueiredo (2005); Sato e Fujita (2009); Mori <i>et al.</i> (2014); Francelino (2016); Jeenanunta <i>et al.</i> (2017); Feng <i>et al.</i> (2020).
	Redes de colaboração	Lall (1992); Bell (1995); Freitas e Heineck (2014); Francelino (2016).
	Aprendizagem	Bell (1995); Biggs <i>et al.</i> (1995); Neves (2000); Yam <i>et al.</i> (2004); Mori <i>et al.</i> (2014); Dal Bello <i>et al.</i> (2020).

Fonte: autor.

Sistema de gestão

O grupo Sistema de Gestão é melhor explicado neste trabalho pela análise dos quatro subgrupos que o Compõem: Projeto de Produtos, Planejamento, Custos, e Qualidade e Controle. O subgrupo Projeto de Produto busca captar a existência de uma rede de gerenciamento de projetos na organização a partir do cumprimento de diversas etapas, antes e após o projeto. Por outro lado, o subgrupo Planejamento visa avaliar o planejamento estratégico e o planejamento de produção da organização. Já o subgrupo Custo investiga se a empresa realiza gestão de custos na produção, visando a racionalização e otimização de processos. Por fim, o subgrupo Controle e

Qualidade verifica a existência da busca contínua da melhoria através da padronização de processos e atividades.

O uso de técnicas relacionadas a princípios e conceitos gerenciais permite avaliar o suporte da empresa voltado a sua capacidade e dinâmica tecnológica. Para maior compreensão, pode-se analisar que o fato de haver planejamento e controle da produção significa que a organização entende a importância de desenvolver e executar estratégias que determinam a qualidade do produto. A prática dessas ações de gestão depende de um conjunto de informações e decisões que incluem perspectivas de curto e longo prazo que contém indicativos do conhecimento e tecnologia disponíveis na empresa.

O Quadro 11 apresenta uma síntese dos parâmetros discutidos, motivação e os autores usados na análise.

Quadro 11 – Subgrupos e indicadores do grupo Sistema de Gestão.

Subgrupo	Indicador	Motivação	Autores
Projeto de produtos	Ações de projeto de produtos	Ferramentas, técnicas, metodologias, recursos e procedimentos que auxiliam a gestão do projeto. .	Figueiredo (2002); Figueiredo (2005); Sato e Fujita (2009); Freitas e Heineck (2014); Francelino (2016).
Planejamento	Planejamento Estratégico	Planejamento de acordo com visão institucional da organização; desenvolvimento do produto de acordo com as necessidades do mercado; planejamento dos processos produtivos..	Yam <i>et al.</i> (2004); Figueiredo (2005); Sato e Fujita (2009); Barraza <i>et al.</i> (2018)
	Planejamento de Produção		
Custo	Ações de gestão de custo	Atuação conforme os recursos orçamentários disponíveis.	Mori <i>et al.</i> (2014)
Controle e qualidade	Ações de controle e qualidade	Garantir que as atividades ocorram conforme o padrão necessário	Neves (2000); Figueiredo (2002); Figueiredo (2005); Barraza <i>et al.</i> (2018)

Fonte: autor.

Estágio tecnológico

O grupo Estágio Tecnológico é composta por três Subgrupos: Digitalização de Produtos e Processos, Materiais, e Industrialização e Robotização. O subgrupo Digitalização de Produtos e Processos busca averiguar o uso de tecnologias digitais aplicadas à concepção de projetos e aos processos produtivos, bem como às interações de compra e venda da cadeia produtiva. Em relação ao subgrupo Materiais,

busca-se captar a frequência no uso de materiais inovadores e sustentáveis. O subgrupo Industrialização e Robotização avalia o nível tecnológico das etapas da construção de edifícios.

De acordo com a análise dos modelos de mensuração apresentados no capítulo 3, pode-se concluir que o estágio tecnológico de uma empresa é compreendido como a capacidade de alcançar e absorver novas tecnologias e inovações. Deduz-se ainda que o estágio tecnológico revela o nível de domínio tecnológico e a forma como foi acumulado na organização, pois o cenário atual é um indicativo do efeito das decisões estratégicas tomadas no passado e da soma dos conhecimentos existentes aplicados ao processo produtivo.

Apesar disso, a avaliação da atualização de tecnologia não é representada apenas pela capacidade produtiva, haja vista que certo patamar de evolução tecnológica precisa de conhecimento, de domínio e de modificações tecno-organizacionais que refletem o perfil das CTs traduzidas nos níveis básico a avançado, em que a empresa possui as tecnologias de última geração ou de elevado grau de complexidade. Os subgrupos dessa função são resumidos no Quadro 12.

Quadro 12 – Subgrupos e indicadores do grupo Estágio Tecnológico.

Subgrupo	Indicador	Motivação	Autores
Digitalização de produtos e processos	Internet das coisas	Integração da rede para informar, modificar, supervisionar e gerenciar os processos de construção.	Borgia <i>et al.</i> (2014); Lee <i>et al.</i> (2015); BIM Engineering (2018); Sisinni <i>et al.</i> (2018); Mckinsey e Company (2020).
	Modelagem de informações de construção (BIM)	Integração dos diversos projetos de construção, transição para industrialização modelo 4.0; simulação do consumo de energético, melhoria no fluxo de informações.	Meza <i>et al.</i> (2014); Abanda <i>et al.</i> (2015); Chong <i>et al.</i> (2017); Martinez-Aires <i>et al.</i> (2018); Antwi-Afari (2018); Mckinsey e Company (2020).
	Canais digitais	Eficiência de compra e venda de mercadorias, melhoria das interações entre os atores envolvidos na construção.	Mckinsey e Company (2020).
Materiais	Materiais inovadores	Melhoria de propriedades dos materiais de construção e desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis.	Li <i>et al.</i> (2021); Hattan <i>et al.</i> (2021); Markov <i>et al.</i> (2021); Cao <i>et al.</i> (2021); Charai <i>et al.</i> (2021); Enríquez <i>et al.</i> (2020); Onochie e Balkis (2021); He <i>et al.</i> (2021); Amran <i>et al.</i> (2021).
	Materiais com certificação de sustentabilidade	Redução impactos ambientais.	Illankoon <i>et al.</i> (2017); Sartori <i>et al.</i> (2021); Tleuken <i>et al.</i> (2021).
Industrialização e robotização	Sistema construtivo de fundações e estruturas	Acentuar o processo de industrialização e robotização da construção.	Kamali <i>et al.</i> (2016); Kozlovská <i>et al.</i> (2014); Zhang <i>et al.</i> (2018); Wu <i>et al.</i> (2019); Asprone <i>et al.</i> (2018); Paul <i>et al.</i> (2018); Schutter <i>et al.</i> (2018); Wu <i>et al.</i> (2016); Bock (2016); Bogue (2018) ; Van e Gasse (2003); Gassel e Mass (2008); Aly <i>et al.</i> (2017); Kehoe <i>et al.</i> (2015).
	Sistema construtivo para vedação		
	Sistema construtivo de revestimentos		
	Sistema construtivo de instalações		

Fonte: autor.

Desenvolvimento de CT&I

Esse grupo é analisado por meio de seis subgrupos: Investimento, Capital Humano, Infraestrutura, Estudo de Mercados, Pesquisa e Desenvolvimento de

Soluções Tecnológicas. Os subgrupos Investimento, Capital Humano e Infraestrutura, visam abranger os recursos necessários ao desenvolvimento de CT&I. Os subgrupos Estudo de Mercados e Pesquisa são fundamentais para o desenvolvimento de novos produtos tecnológicos. O subgrupo Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas engloba as tecnologias usadas ou financiadas pela organização, práticas de engenharia reversa e melhorias em produtos ou softwares adquiridos pela empresa. Uma síntese é apresentada no Quadro 13.

Quadro 13 – Subgrupos e indicadores do grupo Desenvolvimento de CT&I.

Subgrupo	Indicador	Motivação	Autores
Investimento	Gastos com CT&I	Recursos necessários para o o desenvolvimento CT&I	Lall (1992); Bell (1995); Biggs et al. (1995); Figueiredo (2005); Mori <i>et al.</i> (2014)
Capital humano	Funcionários com qualificação técnica.		Neves (2000); Mori <i>et al.</i> (2014)
Infraestrutura	Espaço físico, Equipamentos e Softwares para o desenvolvimento de produtos		Figueiredo (2002); Figueiredo (2002); Sato e Fujita (2009); Essmann e Preez (2010)
Estudo de mercados potenciais	Análise das tecnologias	Análise do cliente e de novos produtos tecnológicos	Lall (1992); Figueiredo (2002); Francelino (2016); Jeenanunta et al. (2017)
Pesquisa	Realização de pesquisa		
Desenvolvimento de soluções tecnológicas	Uso, prática e desenvolvimento tecnológico.	Utilização, na produção, de tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa; práticas de engenharia reversa; melhorias tecnológica em produtos ou softwares adquiridos	Lall (1992); Figueiredo (2002); Sato e Fujita (2009); Jeenanunta et al. (2017); Feng <i>et al.</i> (2020)

Fonte: autor.

Rede de colaboração

Esse grupo é formado por quatro subgrupos: Empresas do Segmento, Fornecedores, Universidades e Centros de Pesquisa, e Governo. O subgrupo Empresas do Segmento examina a influência das relações entre empresas do subsetor edificações para o desenvolvimento de novos processos e/ou novos produtos capazes de gerar vantagem competitiva à empresa. O subgrupo Fornecedores busca avaliar a obtenção de tecnologia ou inovação diretamente por meio de fornecedores de materiais. O subgrupo Universidades e Centros de Pesquisa busca captar a existência de parcerias entre a empresa e instituições científicas para o desenvolvimento de tecnologias e inovações que tornem a empresa competitiva. O último subgrupo desse grupo, Governo, visa verificar os benefícios fiscais e/ou de crédito vindos de políticas governamentais como forma de incentivos ao desenvolvimento da inovação tecnológica. O Quadro 14 apresenta os subgrupos desse grupo.

Quadro 14 – Subgrupos e indicadores do grupo Rede de Colaboração.

Subgrupo	Indicador	Motivação	Autores
Empresas do segmento	Troca de conhecimento técnico com empresas do setor	Melhoria da performance inovadora das empresas.	Freitas e Heineck (2014)
Fornecedores	Tecnologias e/ou inovações obtidas através de parceria com fornecedores.	Existência de parceria com fornecedores para obtenção de tecnologia.	Lall (1992)
Universidades e centros de pesquisa	Desenvolvimento de pesquisa em parceria com universidades ou centros de pesquisa	Difusão de conhecimento e desenvolvimento de inovação tecnológica.	Neves (2000), Jeenanunta <i>et al.</i> (2017), Arant <i>et al.</i> (2019), Wirsich <i>et al.</i> (2016).
Governo	Subsídio estatal	Estímulo à inovação tecnológica	Arant <i>et al.</i> (2019), Lin e Luan (2020).

Fonte: autor.

Aprendizagem

O grupo Aprendizagem abrange os Elementos Processos Internos e Processos Externos de aprendizagem. O Elemento Processos Internos busca quantificar os processos pelos quais os indivíduos adquirem conhecimento tácito realizando diferentes atividades dentro da empresa; por exemplo, fazendo a rotina diária e/ou envolvendo-se em melhorias nos processos existentes e na organização da produção, equipamentos e produtos; o processo também pode ocorrer por meio de atividades de pesquisa em centros de pesquisa e desenvolvimento especificamente organizados, laboratórios de plantas e/ou experimentação sistemática em unidades operacionais e linhas de produção. O subgrupo Processos Externos visa quantificar os processos pelos quais os indivíduos adquirem conhecimento tácito e/ou codificado fora da empresa, como assistência técnica, treinamento, canalização sistemática de conhecimento externo codificado, palestras com especialistas e etc.. O Quadro 15 apresenta os subgrupos desse grupo.

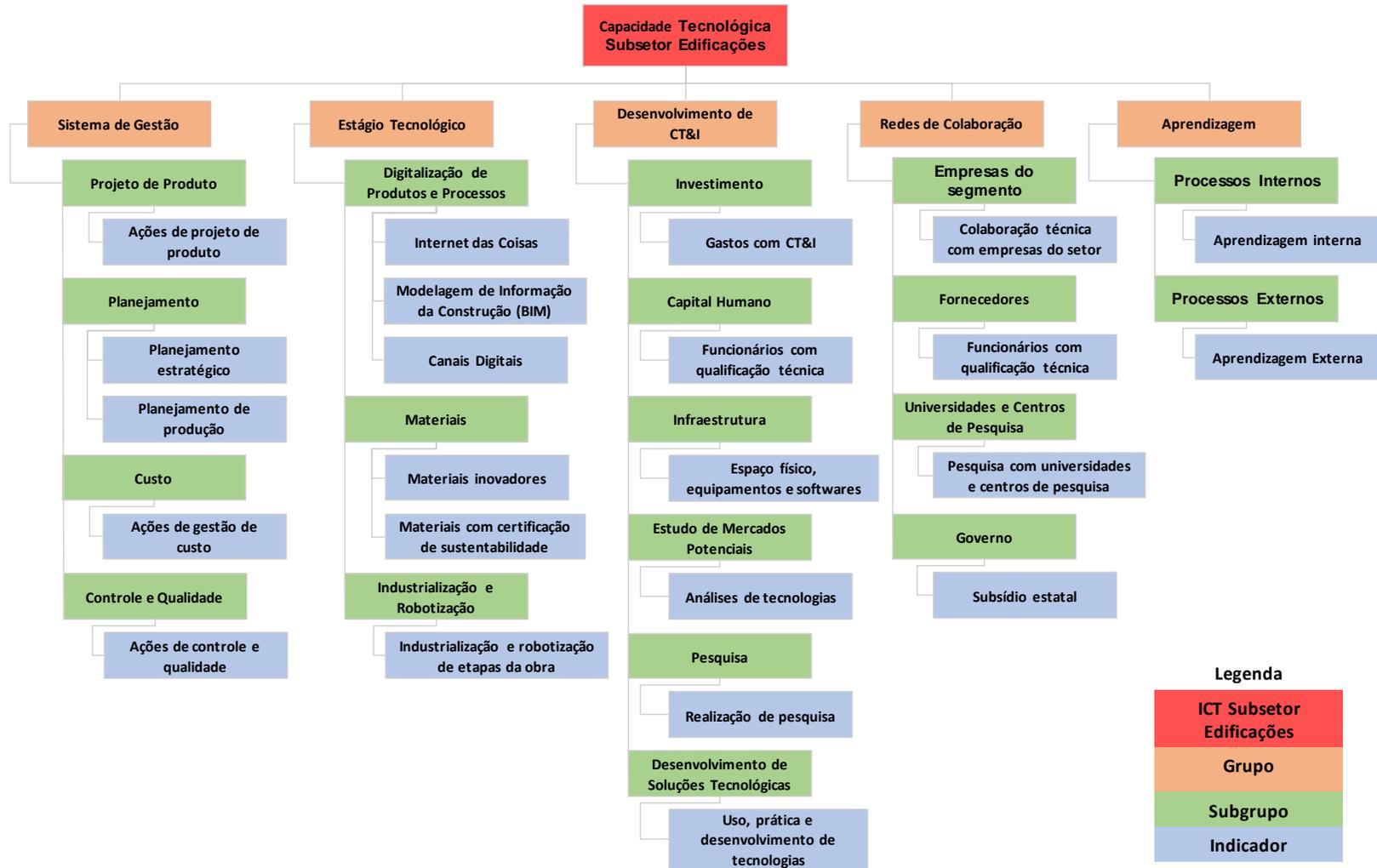
Quadro 15 – Subgrupos e indicadores do grupo Aprendizagem.

Subgrupo	Indicador	Motivação	Autores
Processos internos	Aprendizagem interna	Qualificação de capital humano com treinamentos internos e/ou externos; feed back e monitoramento do supervisor/treinador; desenvolvimento de habilidades devido à função e projetos de inovação.	Biggs et al. (1995); Yam et al. (2004); Mori et al. (2014); Dal Bello et al. (2020)
Processos externos	Aprendizagem externa		

Fonte: autor.

Portanto, de acordo com os pressupostos teóricos, o acúmulo de CTs na indústria de construção de edifícios foi agrupado preliminarmente em Grupos, Subgrupos e indicadores. O modelo foi conceitualmente concebido de modo a agrupar as principais funções tecnológicas que as empresas do subsetor edificações deveriam considerar para aumentar seu nível de complexidade tecnológica. A Figura 8 apresenta esquematicamente essa divisão, possibilitando uma compreensão visual dos elementos que devem ser identificados e trabalhados para avançar o nível tecnológico em uma empresa de construção de edifícios. Nos próximos tópicos deste capítulo será apresentado o refinamento desse modelo teórico e sua aplicação.

Figura 8 - Arquitetura preliminar de acumulação de Capacidades Tecnológicas para o subsector edificações.



Fonte: autor.

5.2 Matriz refinada (pesquisa observacional I)

Conforme já especificado no capítulo 4, o tratamento dos dados da Fase I foi realizado através da utilização do teste de hipóteses, em que se analisou os parâmetros levantados da revisão bibliográfica e os classificou como Relevantes ou Não Relevantes. Os Parâmetros Não Relevantes foram considerados como não sendo adequados para compor a arquitetura da matriz da ferramenta desta pesquisa e, portanto, foram descartados. Este tópico de resultados está ligado ao objetivo específico: validação de parâmetros para integrarem uma matriz consolidada de acumulação de CTs para o subsetor edificações.

Considerando $\alpha = 0,05$, a regra de decisão encontrada foi $H_0: \mu \leq 0,776$ e $H_1: \mu > 0,776$. Todos os parâmetros com média inferior a 0,776 foram rejeitados e, portanto, não compuseram a matriz final da ferramenta. A análise exposta inclui tanto os parâmetros selecionados no referencial teórico como os parâmetros mencionados de forma espontânea pelos especialistas.

Os grupos sistema de gestão e estágio tecnológico não possuíram nenhum elemento retirado das suas matrizes. O elemento desenvolvimento de pesquisa básica foi retirado do grupo Desenvolvimento de CT&I; os especialistas justificaram que é mais importante para o setor a realização de pesquisa aplicada, devido à natureza prática da atividade de construção.

A matriz do grupo Rede de Colaboração também sofreu modificação em sua constituição; o subgrupo governo foi avaliado como não tendo impacto. Alguns especialistas citaram que seria mais interessante buscar um caminho indireto para esse apoio, como através da universidade pública, ao invés do fornecimento direto de subsídios e crédito; outros especialistas afirmaram ainda que a medida seria interessante, mas, no caso brasileiro, geralmente essas medidas estão desvinculadas da obrigatoriedade de apresentação de resultados por parte das empresas beneficiadas. O quadro 16 apresenta os parâmetros selecionados bem como sua média.

Quadro 16 - Classificação das variáveis da Fase I após a aplicação dos teste de hipóteses.

Parâmetro	Média	Classificação
Processos Externos de aprendizagem; Estágio Tecnológico; Planejamento; Planejamento estratégico; Modelagem de informação da construção (BIM); Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas; Universidades e centros de pesquisa; Processos internos de aprendizagem; Gastos na qualificação de corpo técnico.	0,97	Relevante
Funcionários treinados pela empresa para atuar com pesquisa e desenvolvimento; Análise das tecnologias difundidas; Análise de tecnologias inovadoras; Análise de produtos e serviços ofertados; Utilização, na produção, de tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa.	0,96	Relevante
Desenvolvimento de CT&I; Investimento; Pesquisa aplicada; Fornecedores; Gastos em contratação de corpo técnico.	0,93	Relevante
Sistema de Gestão; Aprendizagem; Controle e Qualidade; Industrialização e robotização; Internet das Coisas; Capital Humano; Estudo de mercados potenciais; Projeto de Produto.	0,90	Relevante
Custo; Planejamento de produção; Digitalização de produtos e processos; Sistema construtivo de fundações e estruturas; Sistema construtivo para vedação; Sistema construtivo de revestimentos; Sistema construtivo de instalações; Infraestrutura; Gastos internos em pesquisa e desenvolvimento de produtos; Gastos em financiamento externo de pesquisa e desenvolvimento de produtos; Gastos com aquisição de equipamentos; Gastos com aquisição de softwares; Funcionários que atuam com pesquisa e desenvolvimento de produtos; Funcionários com pós-graduação que atuam com pesquisa e desenvolvimento de produtos; Realização de práticas de engenharia reversa; Realização de melhorias tecnológica em produtos ou softwares adquiridos.	0,83	Relevante
Rede de Colaboração; Materiais; Canais Digitais; Materiais Inovadores; Materiais com certificação de sustentabilidade; Empresas do segmento.	0,80	Relevante
Pesquisa básica; Governo.	0,83	Não Relevante

Fonte: autor.

O refinamento da matriz teórica significou para esta pesquisa, na prática, a validação do levantamento conceitual efetuado. A importância desse procedimento se insere no fato de muitos dos elementos extraídos da literatura terem sido aplicados em outras indústrias e este trabalho estar no nicho da literatura da construção civil. Como visto, expressiva parcela dos grupos, subgrupos e indicadores sugeridos no modelo teórico foi reconhecida pelos especialistas como aplicáveis ao cenário da análise de CTs do subsetor edificações. Além disso, muitos elementos foram inseridos na complementação da matriz teórica, levando ao modelo final usado nesta dissertação e apresentado no Apêndice C.

5.3 Hierarquização dos parâmetros por meio do AHP (pesquisa observacional II)

O presente tópico traduz os objetivos específicos: obtenção de um conjunto de pesos para cada parâmetro da ferramenta de acumulação de CTs por meio de comparações binárias, de acordo com escala de importância do método AHP e normalização de cada variável para a construção de índices. Após a consolidação da Fase I, construiu-se um conjunto de pesos para a matriz definitiva, de acordo com o método AHP, também já detalhado no capítulo 3. O apêndice C apresenta o conjunto de pesos desenvolvidos por meio da aplicação do método AHP. Esses pesos, quando analisados, traduzem a importância fornecida pelos especialistas aos grupos, subgrupos e indicadores da matriz. A Tabela 3 mostra o valor dos pesos para cada grupo da ferramenta.

Tabela 3 – Grau de importância de cada grupo de acordo com os pesos

Grupo	Peso
Sistema de gestão	0,25
Estágio Tecnológico	0,46
Desenvolvimento de CT&I	0,06
Redes de colaboração	0,10
Aprendizagem	0,13

Fonte: autor.

Entre os grupos do modelo, o grupo com maior peso é Estágio Tecnológico (0,46), denotando que na avaliação dos especialistas a tecnologia empregada no processo produtivo é o elemento mais importante para a análise das CTs de uma empresa do subsetor edificações. O peso de cada subgrupo que compõem o grupo Estágio Tecnológico é: Digitalização de Produtos e Processos (0,42), Materiais (0,13) e Industrialização e Robotização (0,45); de acordo com os pesos, o primeiro e o terceiro subgrupo possuem maior relevância.

O grupo Sistema de Gestão possui o segundo maior peso (0,25). Cada subgrupo que compõe este grupo possui o seguinte peso: Projeto de Produto (0,3),

Planejamento (0,3), Custo (0,24) e Controle e Qualidade (0,16); como observado, a diferença entre os pesos dos subgrupos não é demasiadamente acentuada, o que significa que as variáveis não possuem diferença muito significativa em relação ao seu grau de importância.

Em seguida aparece o grupo Aprendizagem (0,13). Para este grupo, o subgrupo Processos Internos possui peso superior ao subgrupo Processos Externos (0,58 x 0,42). Para o grupo Redes de Colaboração, com peso de 0,10, o subgrupo Fornecedores possui a maior relevância (0,54), seguido pelos subgrupos Empresas do Segmento e Universidades e Centros de Pesquisa com os mesmos 0,23.

O grupo Desenvolvimento de CT&I é o grupo com menor peso (0,06). Os seus subgrupos bem como seus respectivos pesos são: Capital Humano (0,15), Infraestrutura (0,16), Estudo de Mercados Potenciais (0,12), Pesquisa (0,18) e Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas (0,08).

O Apêndice C apresenta a configuração final da matriz e o conjunto de pesos obtido em todos os níveis.

5.4 Aplicação da FMCTEED em construtoras de edificações (pesquisa observacional III)

Este item cumpre o objetivo específico de avaliar a aplicação da FMCTEED. Conforme já especificado no capítulo 4, foram coletadas informações de 3 empresas, todas com atuação apenas no estado do Piauí. Com o objetivo de compreender o processo de utilização de inovações tecnológicas nas empresas, verificou-se o perfil das inovações adotadas e as estratégias para a adoção de tecnologias; todas as empresas mencionaram que possuem foco na adoção de inovações no produto, sendo a empresa A a única a afirmar que prioriza também as inovações organizacionais; todas as empresas mencionaram que levam em consideração o quesito sustentabilidade para adotar uma certa inovação; além disso, aspectos como melhorias técnicas e de produtividade foram citados. O Quadro 17 apresenta uma síntese dessas informações.

Quadro 17 – Perfil das empresas participantes da pesquisa.

Infomações	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Perfil das inovação que a empresa adota	Materiais e sistemas construtivos com melhor qualidade técnica, menor impacto ambiental. Inovações organizacionais de gestão e na relação com clientes e fornecedores.	Produtos que representem impactos reais, como melhoria de produtividade e diminuição de custos.	Materiais voltados a elaboração de projetos sustentáveis e capazes de aumentar a qualidade do produto.
Estratégia para adoção de tecnologia.	Centrada em lideranças com perfil inovador e com bom nível de qualificação. A empresa auxilia a contínua atualização técnica desses colaboradores para que sejam capazes de inserir tecnologias inovadoras nos processos produtivos da organização.	Uso de inovações consolidadas no mercado que repretsem baixo risco em sua implantação.	Estudo de tecnologias inovadoras em manuais técnicos de engenharia. Uso de tecnologias apresentadas por fornecedores.

Fonte: autor.

5.1.1 Análise da aplicação por empresa

Este tópico contempla uma análise, por empresa, da aplicação da FMCTEED. São apresentados os ICT alcançados por cada uma das três empresas em cada grupo, bem como os principais indicadores responsáveis pelos valores encontrados. Além disso, realizar-se-á uma breve discussão acerca de como cada grupo poderia ser potencializado de acordo com os elementos não executados pelas empresas, ou seja, as ações não praticadas pela organização identificadas através da aplicação da FMCTEED.

Empresa A

Sistema de Gestão: ICT da empresa A para este grupo é 0,70. A empresa possui níveis de ações efetivadas acima de 50% em todos os indicadores analisados para este grupo, destacando-se os indicadores ações de planejamento de produção e ações de controle de custos, com 83,33% de ações realizadas. Apesar disso, a empresa possui diversos pontos que podem ser melhorados em todos os indicadores do grupo. Por exemplo, no indicador elaboração de projetos, a empresa não realiza a análise do ciclo de vida dos materiais e não faz acompanhamento dos impactos dos projetos desenvolvidos; já no indicador planejamento estratégico, verificou-se a ausência de identificação de *stakeholders* críticos e a avaliação do planejamento estratégico implementado; no indicador controle de custos observa-se que a empresa não identifica custos com perdas e/ou desperdício; e, por fim, o indicador crítico para a empresa é o controle de qualidade, haja vista que a empresa não implementa uma

série de ações, como equipe específica para controle de qualidade, definição de plano de controle do processo produtivo, estudo da produtividade da mão de obra, realização de avaliação do desempenho do setor de projetos, realização de avaliação do produto ou serviço final e avaliação dos níveis de rotatividade de funcionários.

Estágio Tecnológico: O ICT para este grupo é 0,37. A análise dos dados do grupo sugere que existem diversos elementos que podem ser potencializados pela empresa nesse grupo. A aplicação da ferramenta mostrou que a empresa não utiliza a internet das coisas para ações de monitoramento e controle, bem como possui baixa taxa de utilização de materiais inovadores; outro aspecto bastante relevante é o baixo nível tecnológico empregado em todos os sistemas construtivos analisados na pesquisa. Em contraste, os indicadores canais digitais e utilização de materiais com certificação de sustentabilidade apresentaram nota máxima na avaliação.

Desenvolvimento de CT&I: Esse é o grupo com menor ICT, 0,08. Em relação aos indicadores de gastos, a empresa respondeu que não realiza gastos com pesquisa e desenvolvimento de produtos e financiamento externo de pesquisa e desenvolvimento de produtos; a empresa optou por não revelar os seus gastos com contratação e qualificação de corpo técnico de engenharia (nível superior) e com aquisição de softwares e equipamentos, portanto, não foi possível realizar uma análise desses indicadores. A empresa não possui setor destinado à pesquisa e desenvolvimento de produtos e, conseqüentemente, não possui mão de obra para esta finalidade. Basicamente a empresa utiliza internet, revistas e jornais para a análise de tecnologias difundidas e inovadoras.

Redes de colaboração: para este grupo, o ICT é de 0,69. O valor do índice foi potencializado pelo atendimento ao indicador uso de tecnologias e inovações indicadas por fornecedores, que representa 54% do peso para este grupo; a empresa afirmou possuir relações informais com outras empresas para troca de conhecimentos técnicos, porém, não possui qualquer relação com universidades e/ou centros de pesquisa para o desenvolvimento e/ou uso de inovações.

Aprendizagem: o ICT para este grupo é 0,47. A empresa afirmou realizar treinamentos com técnicos do quadro interno, porém, não pontuou nos indicadores de aprendizagem interna que levam em consideração a aprendizagem devido ao uso de tecnologias e ao desenvolvimento de CT&I; no que se refere às ações de aprendizagem externa à empresa, os dados revelam que a empresa utiliza consultoria

com especialistas externos, participa de eventos científicos e possui aprendizagem pelo contato com tecnologias apresentadas por fornecedores; no entanto, não participa de eventos científicos, não realiza treinamentos com profissionais externos ou instituições, e não possui mecanismos para aprendizagem devido ao *feedback* de clientes.

Empresa B:

Sistema de Gestão: o ICT para este grupo é 0,4. A empresa realiza 50% das ações de elaboração de projetos, não pontuando nas ações de Seleção de sistemas construtivos inovadores, análise do ciclo de vida dos materiais e acompanhamento dos impactos de projetos desenvolvidos. Existe muito espaço para melhorias quando se analisa as ações da empresa no indicador planejamento estratégico; das ações listadas na ferramenta para este indicador, a única realizada é a formulação de plano estratégico de acordo com visão e missão empresarial; elementos importantes não são realizados, como identificação de pontos fortes, fraquezas internas e oportunidades e ameaças externas. Identificou-se ainda que apenas metade das ações abordadas na ferramenta no indicador planejamento de produção foram implementadas, destacando-se a não utilização de linha de balanço e não identificação dos processos críticos. Em relação ao controle de custos, também houve a identificação de apenas metade das ações; a empresa não utiliza ferramenta para visualização e mapeamento de custos por etapa do processo produtivo, bem como não faz a Identificação de custos variáveis de produção e de custos com perdas e/ou desperdício. O indicador mais crítico desse grupo é o de controle de qualidade; entre as 12 ações avaliadas pela ferramenta, identificou-se apenas a efetivação de Critérios para recebimento e armazenamento de materiais, máquinas e equipamentos.

Estágio Tecnológico: o ICT para o grupo é de 0,28. A empresa não faz uso da internet das coisas e sua utilização da plataforma BIM é apenas para desenho. Os canais digitais são usados para divulgação de produtos e serviços, bem como para compras e vendas, porém, não são voltadas para relacionamento com *stakeholders* críticos e para *feedback* de impactos da atuação. A empresa possui baixo índice de utilização de materiais inovadores e de utilização de materiais com certificação de sustentabilidade. Por fim, verificou-se um baixo nível tecnológico empregado em todos os sistemas construtivos analisados na pesquisa.

Desenvolvimento de CT&I: o ICT do grupo é 0,06. A empresa não informou os gastos em nenhum dos indicadores da ferramenta. A empresa não possui funcionários envolvidos em pesquisa e desenvolvimento de produtos, não possui setor específico para esta finalidade e não realiza pesquisa aplicada. A empresa realiza a análise de tecnologias e inovações difundidas no mercado por meio da internet, jornais e revistas. A empresa não realiza qualquer atividade de análise dos impactos dos produtos e serviços ofertado. Por fim, identificou-se que a empresa não utiliza, na produção, tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa, não realiza práticas de engenharia reversa e não realiza adaptação ou melhoria tecnológica em materiais, produtos, equipamento ou *softwares* adquiridos.

Rede de colaboração: o ICT para este grupo é de 0,54. A empresa não possui parceria com empresas do segmento para troca de conhecimento técnico e não possui parceria com Universidades e/ou centros de Pesquisa para o desenvolvimento e/ou uso de inovações. No entanto, afirmou fazer uso de tecnologias e inovações indicadas por fornecedores.

Aprendizagem: o ICT para este grupo é 0,4. A empresa afirmou realizar treinamentos com técnicos do quadro interno, porém, não pontuou nos indicadores de aprendizagem interna que levam em consideração a aprendizagem devido ao uso de tecnologias e ao desenvolvimento de CT&I; no que se refere às ações de aprendizagem externa à empresa, a empresa utiliza consultoria com especialistas externos e possui aprendizagem pelo contato com tecnologias apresentadas por fornecedores; no entanto, assim como a empresa anterior, não participa de eventos técnicos ou científicos, não realiza treinamentos com profissionais externos ou instituições, e não possui mecanismos para aprendizagem devido ao feedback de clientes.

Empresa C

Sistema de Gestão: o ICT para o grupo é 0,18. A empresa realiza apenas uma ação de elaboração de projetos, no caso, análise de viabilidade técnica e econômica. Em relação ao planejamento estratégico, a empresa realiza apenas a formulação de plano estratégico de acordo com visão e missão empresarial. Em relação ao planejamento de produção, a empresa não realiza nenhuma das ações listadas. No que tange ao controle de custos, a empresa promove a identificação de custos diretos e indiretos de produção. Por fim, a empresa cumpre 2 ações, das 13 propostas, em

relação ao controle de qualidade: Critérios para recebimento e armazenamento de materiais, máquinas e equipamentos e Definição de plano de controle de custos.

Estágio Tecnológico: o ICT do grupo é 0,23. A empresa não utiliza a internet das coisas para monitoramento de materiais, mão de obra, processos e confiabilidade e segurança patrimonial. A plataforma BIM tem utilização restrita para desenhos e os canais digitais possuem uso restrito para divulgação de produtos e serviços. A empresa possui baixo índice de utilização de materiais inovadores e com certificação de sustentabilidade. Seu processo produtivo, em todos os sistemas construtivos analisados, é tradicional, denotando baixo nível tecnológico.

Desenvolvimento de CT&I: o ICT do grupo é 0,06. A empresa não informou os gastos em nenhum dos indicadores da ferramenta. A empresa não possui funcionários envolvidos em pesquisa e desenvolvimento de produtos, não possui setor específico para esta finalidade e não realiza pesquisa aplicada. A empresa realiza a análise de tecnologias e inovações difundidas no mercado por meio da internet, jornais e revistas. A empresa não realiza qualquer atividade de análise dos impactos dos produtos e serviços ofertado. Por fim, identificou-se que a empresa não utiliza, na produção, tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa, não realiza práticas de engenharia reversa e não realiza adaptação ou melhoria tecnológica em materiais, produtos, equipamento ou softwares adquiridos.

Rede de colaboração: o ICT para este grupo é de 0,54. A empresa não possui parceria com empresas do segmento para troca de conhecimento técnico e não possui parceria com Universidades e/ou centros de Pesquisa para o desenvolvimento e/ou uso de inovações. No entanto, afirmou fazer uso de tecnologias e inovações indicadas por fornecedores.

Aprendizagem: o ICT para este grupo é 0,4. A empresa afirmou realizar treinamentos com técnicos do quadro interno, porém, não pontuou nos indicadores de aprendizagem interna que levam em consideração a aprendizagem devido ao uso de tecnologias e ao desenvolvimento de CT&I; no que se refere às ações de aprendizagem externa à empresa, os dados mostram que sua única fonte de aprendizagem externa é através do contato com tecnologias apresentadas por fornecedores; a empresa não participa de eventos técnicos ou científicos, não realiza treinamentos com profissionais externos ou instituições, e não possui mecanismos para aprendizagem devido ao *feedback* de clientes.

5.1.2 Análise da aplicação para o conjunto

A Tabela 4 apresenta uma síntese dos ICT encontrados no trabalho para as empresas do subsetor edificações estudadas. O ICT geral para cada empresa foi: 0,47 para a empresa A, 0,33 para a empresa B e 0,24 para a empresa C. O ICT médio da amostra é de 0,35, o que, na prática, significa que apenas 35% do índice total foi alcançado. Conforme já especificado em tópicos anteriores, a empresa A é de porte médio e as demais são de pequeno porte. Essa informação auxilia a entender o seu índice maior em relação às outras empresas.

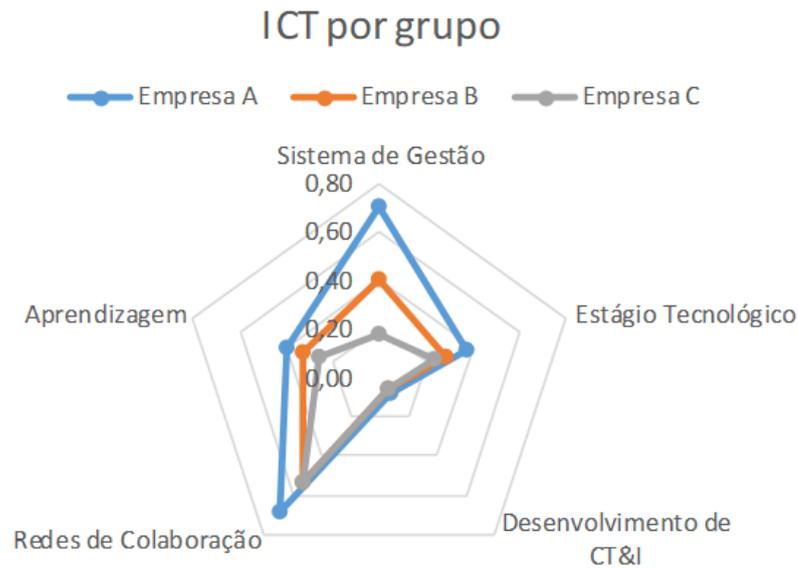
Tabela 4 – ICT geral, por grupo, máximos, mínimos e médios.

Grupo	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Médio
ICT por grupo						
Sistema de gestão	0,70	0,40	0,18	0,70	0,18	0,43
Estágio Tecnológico	0,37	0,28	0,23	0,37	0,23	0,29
Desenvolvimento de CT&I	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,07
Redes de colaboração	0,69	0,54	0,54	0,69	0,54	0,59
Aprendizagem	0,4	0,33	0,26	0,40	0,26	0,33
ICT Geral	0,47	0,33	0,24	0,47	0,24	0,35

Fonte: Autor.

O Gráfico 4 apresenta o perfil de cada empresa do conjunto. Nesse gráfico, é possível observar que a empresa A apresenta um melhor desempenho em grande parte dos grupos, com exceção ao grupo desenvolvimento de CT&I em que todas as empresas possuem índices próximos. A seguir será feita uma discussão sobre cada grupo do conjunto amostral.

Gráfico 3 - Gráfico do ICT do grupo aprendizagem para cada empresa

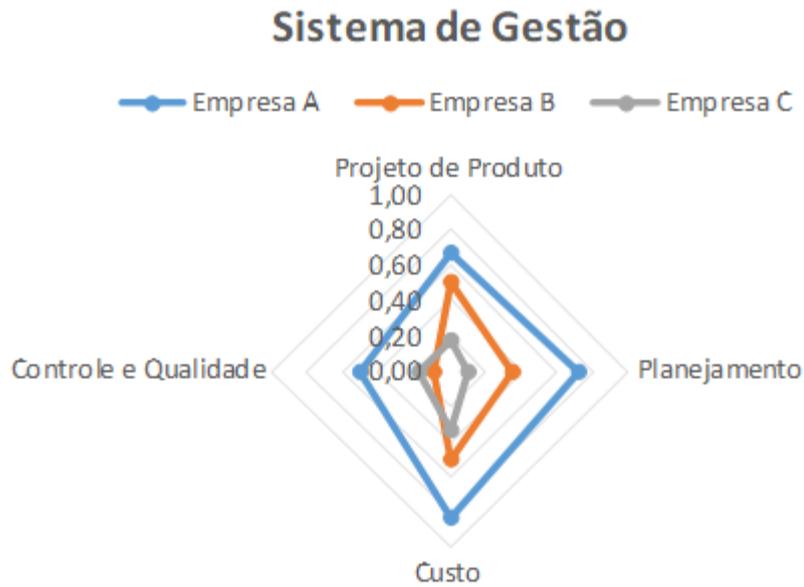


Fonte: Autor.

Para o grupo sistema de gestão, averiguou-se que a empresa A possuiu um melhor desempenho em todos os subgrupos apresentados. Comparando-se as empresas B e C, a empresa B apresentou um desempenho melhor nos subgrupos projeto de produto, planejamento e custo, enquanto a empresa C apresentou um melhor desempenho no subgrupo controle e qualidade. O gráfico 5 expõem uma síntese dessas informações.

Verificou-se que nenhuma das empresas, para o grupo sistema de gestão: realiza análise do ciclo de vida dos materiais e acompanhamento dos impactos dos projetos desenvolvidos; realizada a identificação de *stakeholders* críticos; avalia o planejamento estratégico implementado; realiza a identificação de custos com perdas e/ou desperdício; possui equipe específica para controle de qualidade; define plano de controle de qualidade ou realiza um estudo da produtividade da mão de obra; realiza a avaliação de desempenho do setor de projetos e do produto ou serviço final; e, por fim, realiza a avaliação dos níveis de rotatividade de funcionários. Um ponto comum positivo identificado foi que todas as empresas realizam a identificação de custos diretos e indiretos de produção.

Gráfico 4 - ICT do grupo sistema de gestão para cada empresa

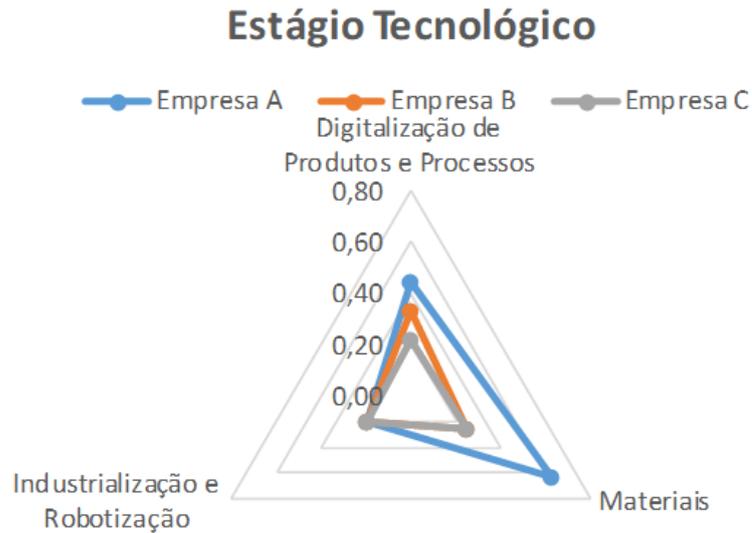


Fonte: Autor.

No grupo estágio tecnológico, a empresa A possui melhor desempenho nos subgrupos produtos e processos e materiais, mas possui desempenho equivalente as demais empresas no subgrupo industrialização e robotização. A empresa B possui melhor desempenho do que a empresa C no subgrupo produtos e processos. Um resumo dessas informações pode ser observado no Gráfico 6.

Considerando os dados coletados, alguns aspectos similares observados para todas as empresas do grupo estágio tecnológico foram: a ausência do emprego da internet das coisas em seus processos internos; a não utilização da plataforma BIM para análise de desempenho e custos; a utilização entre 0 a 5 materiais inovadores nos últimos 3 anos; e a utilização de canais digitais como forma de divulgação de produtos e serviços.

Gráfico 5 - ICT do grupo estágio tecnológico para cada empresa



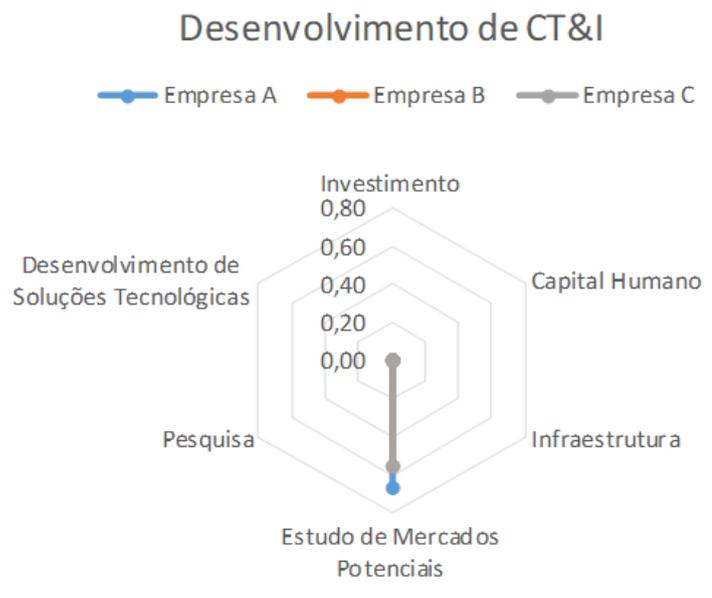
Fonte: Autor.

No grupo desenvolvimento de CT&I houve certa dificuldade para o levantamento de informações, pois as empresas não quiseram revelar ou afirmaram não saber com precisão os gastos com aquisição de equipamentos, contratação de corpo técnico de engenharia de nível superior, aquisição de software e qualificação de corpo técnico de engenharia.

No entanto, foi possível identificar que as empresas não realizam gastos internos ou externos (por meio de financiamento) com pesquisas e desenvolvimento de produtos. Como as empresas não realizam o desenvolvimento de produtos, pesquisa ou atividades de engenharia reversa, não há quadro técnico especificamente para estas finalidades. É importante ressaltar que esse cenário impacta na utilização de tecnologias próprias.

Considerando o exposto, o Gráfico 7 não apresenta informações de índices para 5 subgrupos. O subgrupo estudo de mercados potenciais foi o único possível para análise, extraindo-se que todas as empresas realizam a análise de tecnologias difundidas no mercado e inovadoras através da internet, jornais e revistas.

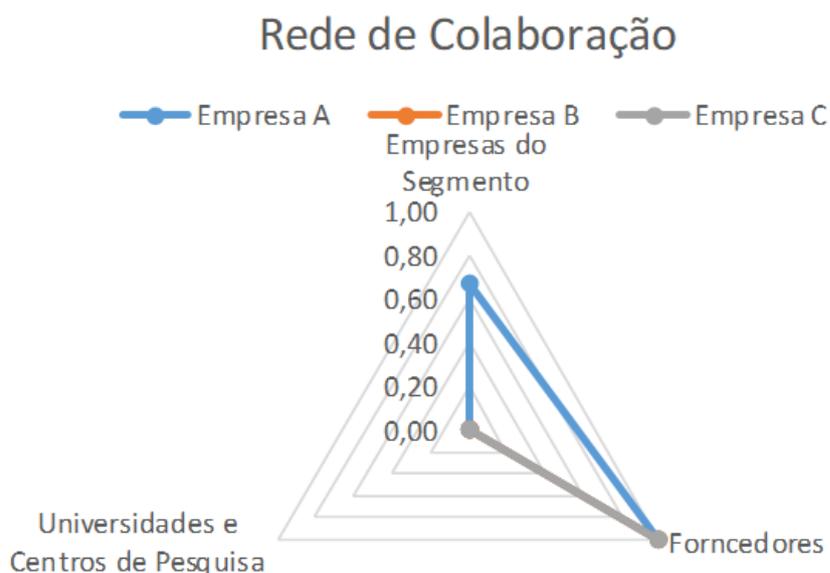
Gráfico 6 - ICT do grupo desenvolvimento de CT&I para cada empresa



Fonte: Autor.

O grupo rede de colaboração analisa a existência de parcerias entre as empresas e outras empresas do segmento, com universidades e centros de pesquisa e fornecedores. No Gráfico 8 é possível observar que os índices para todas as empresas são similares nos subgrupos universidades e centros de pesquisa e fornecedores. Apenas a empresa A possui índice no subgrupo empresas do segmento por possuir parcerias informais com outras empresas. Todas as empresas afirmaram possuir parcerias com fornecedores para a aquisição de tecnologias e inovações, mas nenhuma possui qualquer tipo de parceria para aquisição ou desenvolvimento de CT&I com universidades ou centros de pesquisa.

Gráfico 7 - ICT do grupo rede de colaboração para cada empresa

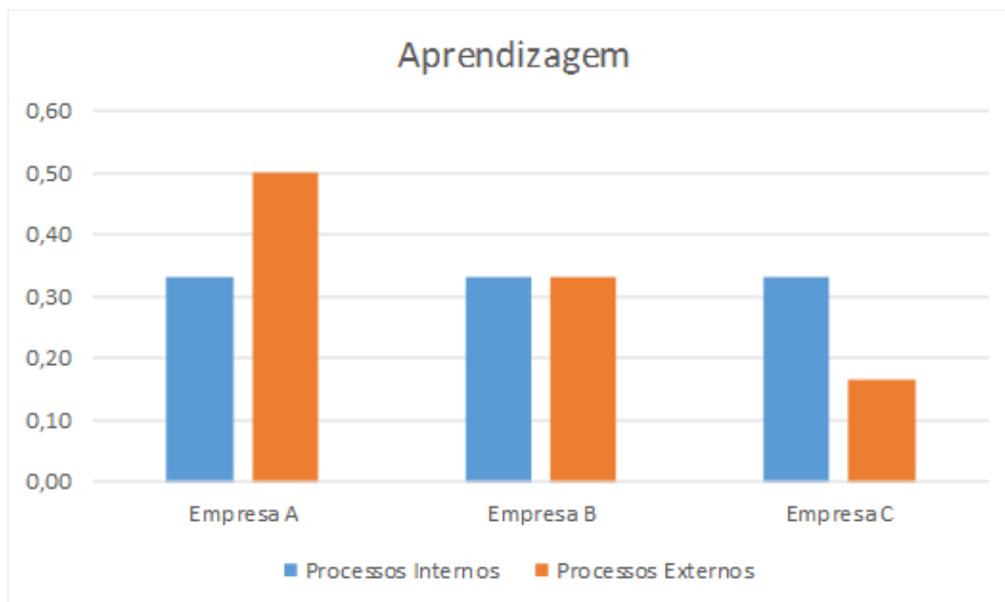


Fonte: Autor.

No grupo aprendizagem, o Gráfico 9 mostra que as empresas possuem índices similares para os processos de aprendizagem interna; já nos processos de aprendizagem externa, a empresa A se destaca, possuindo índice bastante superior às demais. Os dados revelaram que no quesito aprendizagem interna as empresas possuem como única fonte de aprendizagem treinamentos de capacitação fornecidos por funcionário do próprio quadro, não relatando aprendizagem por uso ou desenvolvimento de tecnologias, conforme já previsto pela análise dos grupos anteriores.

Já para a aprendizagem externa, todas as empresas mencionaram aprendizagem devido ao contato com novas tecnologias apresentadas por fornecedores. Em relação a participação em eventos técnicos ou científicos, apenas a empresa A relatou participar de eventos de natureza técnica e nenhuma respondeu participar de eventos científicos; as empresas A e B afirmaram que consultorias técnicas são uma das fontes de sua aprendizagem externa e apenas a empresa A promove treinamentos do quadro interno por meio do uso de profissionais ou instituições externas.

Gráfico 8 - ICT do grupo aprendizagem para cada empresa



Fonte: Autor.

A análise da aplicação da FMCTEED possibilita o diagnóstico das particularidades de cada empresa (ou de um grupo) do subsetor edificações em relação à CT, por meio do levantamento de informações que permitem identificar os pontos críticos em que é possível a realização de uma intervenção para melhoria. A FMCTEED permite a construção de gráficos usados como identificação visual do perfil de CT das empresas estudadas, facilitando a observação de pontos fracos e fortes das organizações. Em uma aplicação mais expandida da FMCTEED, poder-se-ia ter um estudo das diferenças tecnológicas entre regiões, bem como servir de suporte para a tomada de decisões de políticas públicas para o estímulo à inovação tecnológica no subsetor.

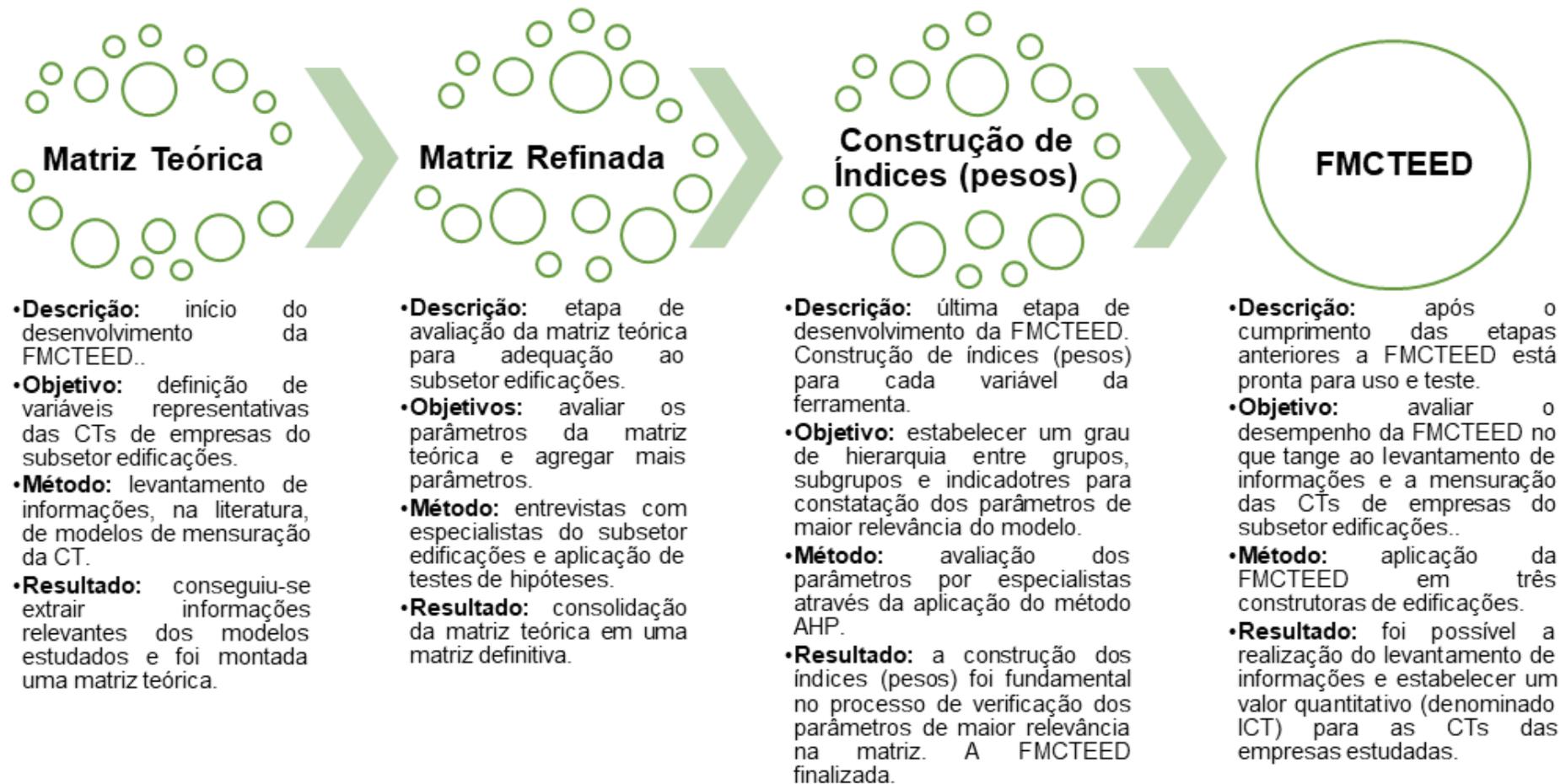
O estudo demonstrou que a empresa com maior ICT possui um sistema de gestão mais consolidado, maior nível de digitalização, uso mais incisivo de materiais inovadores, estudo mais aprofundado de mercados potenciais, mais atividade em redes de colaboração e, por fim, possui mais aplicação de processos externos de aprendizagem. Um ponto muito relevante da pesquisa é o baixo índice de industrialização e robotização de todas as empresas estudadas, sendo verificado predomínio absoluto de técnicas tradicionais de construção para os sistemas construtivos abordados nesta dissertação, o que denota atraso tecnológica. Esse tipo

de constatação pode servir de suporte para ações de implantação de sistemas construtivos mais modernos nas empresas.

Observou-se ainda um baixo índice de desenvolvimento de CT&I; o porte da empresa não necessariamente justifica esse cenário, pois, como visto no capítulo 3, existem mecanismos que podem ser adotados por pequenas e médias empresas para o desenvolvimento de tecnologia e inovação, como parcerias com universidades e centros de pesquisa e estar inserido em uma teia de parcerias com empresas do segmento. No grupo aprendizagem verificou-se a ausência de aprendizagem devido ao desenvolvimento tecnologias e inovação, algo previsível considerando os resultados do grupo desenvolvimento de CT&I.

Por fim, no que tange à rede de colaboração, destaca-se que o índice das empresas pequenas foi potencializado pela parceria com fornecedores, o que demonstra elevada dependência desse elo para a implementação de inovação para essas empresas. As empresas pequenas também apresentaram um baixíssimo índice no grupo sistema de gestão, com a ausência de elementos básicos como estratégia de execução do empreendimento e plano de controle do processo produtivo. A Figura 9 apresenta uma síntese do resultado de cada etapa do desenvolvimento da FMCTEED e da sua aplicação.

Figura 9 – Síntese do processo de construção da ferramenta.



Fonte: Autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto ao longo do trabalho, o processo de inovação na construção civil ocorre a taxas menores quando em comparação a outras indústrias. As particularidades do setor, como a natureza fixa do local de construção e projetos específicos para cada unidade construída, contribuem para esse cenário. Aspectos como uma cultura organizacional voltada para a inovação são fatores que podem romper com esse paradigma e estimular a inovação e transformações tecnológicas em empresas de construção civil.

No subsetor edificações, verificou-se que as inovações mais promissoras estão vinculadas à digitalização de produtos e processos (destacando-se a internet das coisas, a Modelagem de Informações de Construção (BIM) e a utilização de canais digitais), materiais inovadores, e fatores que interferem profundamente nos sistemas construtivos, como a industrialização e robotização de etapas da obra, com impacto expressivo no custo e tempo de execução. Essa constatação corrobora com o conceito principal de inovação adotado neste trabalho, traduzido pela geração e manutenção de valor para os principais *stakeholders*.

A teoria da acumulação de CTs apresenta o que precisa ser potencializado em uma organização para a condução do processo inovativo, em um contexto de economias de industrialização tardia, visando a superação do atraso tecnológico. A chave para esse processo está nas escolhas técnicas que a empresa realiza ao longo do tempo e que são acumuladas através das CTs e traduzidas em fator de competitividade.

De acordo com o que foi abordado nesta pesquisa, mensurar os elementos abstratos que compõe o conceito de CT não é uma tarefa simples, haja visto seu caráter difuso e tácito, assim como o complexo conjunto de dimensões abrangidas na definição. Este trabalho considera conceitualmente CT como sendo os recursos (tangíveis e intangíveis) necessários para incorporar, usar, gerenciar e desenvolver transformações tecnológicas como resultado do processo de aprendizagem da organização.

A literatura possui diversas estruturas com fins de mensurar a CT em indústrias diversas, porém, são escassos os trabalhos dessa área voltados para a indústria da construção. Por isso, esta dissertação visa ser um ponto de partida para esse tipo de

estudo, através da proposta de uma modelo composto por índices para mensurar a CT, em função de dimensões que atendem a gestão, tecnologia, operação e as teias de relações entre as empresas do setor. O estudo permite que a identificação de um determinado estágio de CT para uma empresa do subsetor edificações seja efetuado através de cinco grupos: sistema de gestão, estágio tecnológico, desenvolvimento de CT&I, rede de colaboração e aprendizagem.

Os parâmetros que compõe a ferramenta desta pesquisa, denominada FMCTEED, derivam de extensa revisão bibliográfica, apresentada nos capítulos 3 e 4, bem como de pesquisa observacional desenvolvida com o auxílio de especialistas da área de construção civil. Ressalta-se, portanto, que a incorporação dos elementos na FMCTEED ocorreu fundamentada nos conceitos de CT e de acordo com sua aplicabilidade na indústria da construção. Tendo em vista as várias dimensões do modelo e o caráter tácito e difuso da definição de CT e considerando o tipo de atividade produtiva, optou-se pela proposta de um conjunto de índices associado a cada elemento selecionado.

Foram realizados testes de sensibilidade para a avaliação dos parâmetros (teste de hipóteses), porém, não para avaliar os índices ou o instrumental, o que significa que pode haver uma lacuna que pode ser objeto de outros estudos. Apesar da FMCTEED possuir relativamente elevada quantidade de variáveis, o levantamento de informações se mostrou bastante simplificado, haja vista que pode ser sintetizado em um questionário de fácil aplicação. Contudo, pode haver resistência por parte das empresas em relação à divulgação de dados que demonstrem suas fraquezas ou simplesmente essas informações não são quantificadas nas organizações por descuido, como percentual de gastos com qualificação de corpo técnico.

Destaca-se também que a ferramenta foi testada apenas no subsetor edificações, não se tendo informações acerca do seu comportamento quando aplicada em outros segmentos da construção civil. Além disso, a FMCTEED contempla alto nível tecnológico, tanto para execução quanto para projetos. Esse fator pode dificultar sua aplicação em parte das empresas brasileiras.

No que tange ao atendimento aos objetivos específicos, apresentados no Capítulo 1, pode-se afirmar que a sistematização de informações levou ao levantamento de informações na literatura e possibilitou a compreensão de diversos elementos, como: dinâmica tecnológica no subsetor edificações, processos de

inovação, particularidades envolvidas no conceito de CT, e modelos existentes de mensuração da CT. Esses aspectos possibilitaram a extração de variáveis que interpretam a CT no subsetor edificações.

Além disso, a Validação de parâmetros foi efetivada, haja vista que o fluxo de conceitos transposto entre referencial teórico e a matriz preliminar dessa pesquisa necessitou de um exame mais aprofundado para averiguar sua pertinência e aplicabilidade. Por isso, os parâmetros inicialmente extraídos foram reavaliados por um conjunto de especialistas através da aplicação de questionários. De todo o universo de variáveis da matriz teórica, cerca de 94% foram validadas, e alguns outros elementos foram inseridos com base no conhecimento dos especialistas. A partir de todo esse processo, definiu-se a matriz final da FMCTEED.

A Obtenção de um conjunto de pesos para cada parâmetro da FMCTEED por meio de comparações binárias e a normalização de cada variável para a construção de índices também foi efetivada através dos métodos matemáticos selecionados para este trabalho. Por fim, a avaliação da aplicação da FMCTEED, último objetivo específico desta pesquisa, também foi atendido, já que a ferramenta foi transformada em um questionário aplicável e usado para a coleta de informações em empresas do subsetor edificações.

Após o cumprimento de todos os objetivos, verificou-se que a FMCTEED foi eficiente quanto à proposta de levantamento de dados e se não se mostrou complexa, tanto para aplicação como para a interpretação dos dados extraídos, sendo a principal contribuição científica deste trabalho a possibilidade de mensuração das CTs tecnológicas de construtoras de edificações. Esta ferramenta possui elevado potencial para aplicabilidade dinâmica, ou seja, para aplicação no mesmo grupo de empresas sequencialmente em determinados intervalos de tempo, de modo a se levantar os dados medidos, promover ações de melhoria tecnológica, e voltar a aplicar a ferramenta para constatar os resultados obtidos.

As principais limitações encontradas no estudo foram: dificuldade para a seleção de especialistas, pois os questionários ficaram longos, o que foi contornado aumentando o prazo para preenchimento; preocupação das empresas em divulgar determinadas informações (principalmente em relação aos gastos), o que causou dificuldade na seleção de empresas para participar da pesquisa, sendo que mesmo algumas empresas selecionadas não divulgaram determinadas informações.

Como recomendações para pesquisas futuras, pode-se mencionar a utilização da FMCTEED para analisar um conjunto maior de empresas ou agrupar empresas por região e realizar um comparativo do cenário de cada região. Outra possibilidade é a realização da aplicação contínua da FMCTEED em um conjunto de empresas e acompanhar a evolução das suas capacidades tecnológicas com base em relatórios descritivos dos itens passíveis de melhoria apontados na FMCTEED.

REFERÊNCIAS

- ABANDA, F. H.; VIDALAKIS, C.; OTI, A.H.; TAH, J.H.M. **A critical analysis of Building Information Modelling systems used in construction projects**. *Adv. Eng. Softw.* 90, 183–201. 2015.
- ADAT, V. e GUPTA, B. **Security in internet of things: issues, challenges, taxonomy, and architecture**. *Telecommunication Systems*, 67(3):423–441. 2018.
- ADAMS, R.; BESSANT, J.; PHELPS, R. **Innovation management measurement: a review**. *Int. J. Manag. Rev.* 8 (1), 21–47. 2006.
- ANDREADIS, I., e KARTSOUNIDOU, E. **The Impact of Splitting a Long Online Questionnaire on Data Quality**. *Survey Research Methods*, 14(1), 31-42. 2020.
- ALI, M. **Imitation or innovation: To what extent do exploitative learning and exploratory learning foster imitation strategy and innovation strategy for sustained competitive advantage?** *Technological Forecasting and Social Change*, 165, 120527–120544. 2021.
- ALY, A.; GRIFFITHS, S.; STRAMANDINOLI, F. **Towards intelligent social robots: Current advances in cognitive robotics**. *Cogn. Syst. Res.* 43, 153–156. 2017.
- AMRAN, M.; MURALI, G.; KHALID, N.H.A.; FEDIUUK, R.; OZBAKKALOGLU, T.; LEE, Y.H.; HARUNA, S.; LEE, Y.Y. **Slag uses in making an ecofriendly and sustainable concrete: A review**. *Constr. Build. Mater.* 272, 121942. 2021.
- ANTWI-AFARI, M. F.; LI, H.; PÄRN, E. A.; EDWARDS, D.J. **Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review**. *Autom. Constr.* 91, 100–110. 2018.
- AMANKWAH-AMOA, J. **The evolution of science, technology and innovation policies: a review of the Ghanaian experience**. *Technol. Forecast. Soc. Change* 110, 134–142. 2016.
- ARAGÃO, J. W. M. M.; NETA, M. A. H. **Metodologia Científica**. Salvador: UFBA, Faculdade de Educação, Superintendência de Educação a Distância. 2017.
- ARANT, W.; FORNAHL, D.; GRASHOF, N. **University-industry collaborations—The key to radical innovations?** *Rev Reg Res* 39, 119–141 2019.
- ASPRONE, D.; AURICCHIO, F.; MENNA, C.; MERCURI, V. **3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach**. *Constr. Build. Mater.* 165, 218–231. 2018
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062 – **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.
- BARRAZA, A. C.; ANGELES, A. G.; CHAVEZ, F. L.; MUNOZ, I. M. **Tools to measure the technological capabilities of the aerospace industry**. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(4), 769–775. 2018.

BASHA, S.I.; ALI, M.R.; DULAIJAN, S.U.A.; **Maslehuudin, M. Mechanical and thermal properties of lightweight recycled plastic aggregate concrete.** *J. Build. Eng.* 32. 2020.

BAUMHOF, R.; DECKER, T.; RÖDER, H.; MENRAD, K. **Which factors determine the extent of house owners' energy-related refurbishment projects? A motivation-opportunity-ability approach.** *Sustainable cities and society* 36, 33-41. 2018.

BELL, M.; PAVITT, K. **Technological accumulation and industrial growth: contrast between developed and developing country.** *Industrial and Corporate Change, Oxford*, v. 2, n. 2, p.157-210, 1993.

BELL, M.; PAVITT, K. **The Development of Technological Capabilities.** *Technology and International Competitiveness.* Washington, DC: The World Bank, p.69-101. 1995.

BELLIL, A., AZIZ, A., EL AMRANI; EL HASSANI. **Producing of Lightweight Concrete from Two Varieties of Natural Pozzolan from the Middle Atlas (Morocco): Economic, Ecological, and Social Implications.** *Silicon.* 2021.

BIANCHINI, S.; PELLEGRINO, G; TAMAGNI, F. **Innovation complementarities and firm growth.** *Industrial and Corporate Change*, Vol. 27 No. 4, pp. 657-676. 2018.

BIGGS, T.; SHAH, M.; SRIVASTAVA, P. **Technological capabilities and learning in african enterprises.** *Washington: World Bank*, 235p. 1995

BITARAFAN, M., HOSSEINI, S.B., ABAZARLOU, S., MAHMOUDZADEH, A., 2015. **Selecting the optimal composition of architectural forms from the perspective of civil defense using AHP and IHWP methods.** *Archit. Eng. Des. Manag.* 11, 137–148. 2015.

BOCK, T.; LINNER, T. **Robot Oriented Design—Design and Management Tools for the Deployment of Automation and Robotics in Construction.** *The Cambridge Handbooks in Construction Robotics*, Cambridge. New York. 2015

BOCK, T.; LINNER, T. **Construction Robots: Elementary Technologies and Single-Task Construction Robots**, Cambridge. New York. 2016.

BOGUE, R. **What are the prospects for robots in the construction industry?** *Industrial Robot: An International Journal* 45(1). 1-6. 2018.

BORGIA, E. **The internet of things vision: Key features, applications and open issues.** *Computer Communications*, 54:1–31. 2014.

BOSCHMA, R. **Relatedness as driver of regional diversification: A research agenda.** *Reg Stud* 51(3):351–364. 2017.

BOTELHO, J.M.; CRUZ, V. A. G. **Metodologia científica.** São Paulo: *Pearson Education do Brasil*, 2013.

BOTTA, A.; DE DONATO, W.; PERSICO, V; PESCAPÉ, A. **Integration of cloud computing and internet of things: a survey.** *Future Generation Computer Systems*, 56:684–700. 2016.

- BRYSON, J. J.; WINFIELD, A. F. T. **Standardizing Ethical Design for Artificial Intelligence and Autonomous Systems**. *Computer*. 50, 116–119. 2017.
- BUCHLI, J.; GIFTTHALER, M.; KUMAR, N.; LUSSI, M.; SANDY, T.; DÖRFLER, K.; HACK, N. **Digital in situ fabrication—Challenges and opportunities for robotic in situ fabrication in architecture, construction, and beyond**. *Cem. Concr. Res.* 112, 66–75. 2018.
- CAO, Y.; WANG, Y.; ZHANG, Z.; MA, Y.; WANG, H. **Recent progress of utilization of activated kaolinitic clay in cementitious construction materials**. *Compos. Part B Eng.* 211. 2021.
- CASTELLACCI, F. **Technological paradigms, regimes and trajectories: manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation**. *Research Policy*. Vol. 37 Nos 6/7, pp. 978-994. 2008.
- CHATZOGLOU, P.; CHATZOUDIS, D. **The role of innovation in building competitive advantages: an empirical investigation**. *European Journal of Innovation Management*, Vol. 21 No. 1, pp. 44-69. 2018.
- CHARAI, M.; SGHIOURI, H.; MEZRHAB, A.; KARKRI, M. **Thermal insulation potential of non-industrial hemp (*Moroccan cannabis sativa L.*) fibers for green plaster-based building materials**, *J. Clean. Prod.* 292. 126064. 2021.
- CHIU, S. T. L. **An Analysis on the Potential of Prefabricated Construction Industry**. Ph.D. Thesis, The University of British Columbia, Vancouver. Canada. 2012.
- CHIESA, V.; FRATTINI, F. **An exploratory study on R&D performance measurement practices – A survey of Italian R&D-intensive firms**. *Int. J. Innov. Manag.* 13 (1), 65–104. 2009.
- CHONG, A. Y. L.; CHAN, F. T. **Structural equation modeling for multi-stage analysis on Radio Frequency Identification (RFID) diffusion in the health care industry**. *Expert Systems with Applications*. 2012.
- COAD, A.; SEGARRA, A.; TERUEL, M. **Innovation and firm growth: does firm age play a role?**. *Research Policy*, Vol. 45 No. 2, pp. 387-400. 2016.
- CRUZ-CÁZARES, C.; BAYONA-SÁEZ, C.; GARCÍA-MARCO, T. **You can't manage right what you can't measure well: technological innovation efficiency**. *Res. Policy* 42 (6–7), 1239–1250. 2013.
- DAL BELLO, L. H. A.; FIGUEIREDO, P. N.; DE ALMEIDA, T. B. dos A. **Acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras na indústria de defesa em economias emergentes: a experiência dos projetos REMAX e TORC30 no Exército Brasileiro**. Rio de Janeiro: FGV EBAPE. 2019
- DE MASSIS, A.; AUDRETSCH, D.; UHLANER, L.; KAMMERLANDER, N. **Innovation with limited resources: management lessons from the German Mittelstand**. *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 35 No. 1, pp. 125-146. 2018.
- DE SCHUTTER, G.; LESAGE, K.; MECHTCHERINE, V.; NERELLA, V. N.; HABERT, G.; AGUSTI-JUAN, I. **Vision of 3D printing with concrete—Technical, economic and environmental potentials**. *Cem. Concr. Res.* 112, 25–36. 2018.

DING, Z.; LIU, S.; LIAO, L.; ZHANG, L. **A digital construction framework integrating building information modeling and reverse engineering technologies for renovation projects.** *Autom. Constr.* 102, 45–58. 2019

DURDYEV, S.; ISMAIL, S. **On-site construction productivity in Malaysian infrastructure projects.** *Structural Survey*, vol. 34, no. 4-5, pp. 446–462. 2016.

DURMUŞOĞLU, Z. D. U. **Assessment of techno-entrepreneurship projects by using Analytical 606 Hierarchy Process (AHP).** *Technology in Society*, 54, 41-46. 2018.

DZIALLAS, M.; BLIND, K. **Innovation indicators throughout the innovation process: An extensive literature analysis.** *Technovation*. 80–81, 3–29. 2019.

ENRÍQUEZ, E.; TORRES-CARRASCO, M.; CABRERA, M.J.; MUÑOZ, D.; FERNÁNDEZ, J.F. **Towards more sustainable building based on modified Portland cements through partial substitution by engineered feldspars.** *Constr. Build. Mater.* 121334. 2020.

ERCAN, T. **Building the Link between Technological Capacity Strategies and Innovation in Construction Companies.** *Sustainable Management Practices*. 1–15. 2019.

ESSMANN, H.; PREEZ, N. Du. **An innovation capability maturity model: development and initial application.** *International Journal of Human and Social Sciences*, v.5, p.1. 2010.

FENG, B.; SUN, K.; CHEN, M.; GAO, T. **The Impact of Core Technological Capabilities of High-Tech Industry on Sustainable Competitive Advantage.** *Sustainability*, 12, 2980. 2020.

FIGUEIREDO, G. P. de. **Esforços de capacitação tecnológica da indústria de bens de capital – segmento de máquinas e equipamentos: um estudo de caso de empresas líderes em Santa Catarina.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio-Econômico, Programa de Pós-Graduação em Economia, Florianópolis, 2013.

FIGUEIREDO, P.N. **Acumulação tecnológica e inovação industrial: conceitos, mensuração e evidência no Brasil.** Vol. 19 No. 1, p. 54-69. 2005.

FIGUEIREDO, P. N. **Does technological learning pay off? Implications for inter-firm differences in operational performance improvement.** *Research Policy*, v. 31, n. 1, p. 73-94, 2002.

FOSS, N.J. e SAEBI, T. **Business models and business model innovation: between wicked and paradigmatic problems.** *Long Range Planning*, Vol. 51No. 1, pp. 9-21. 2018.

FRANCELINO, J. A. (2016). **Impactos tecnológicos de programas de aquisição de aeronaves militares sobre o nível de capacitação da indústria aeronáutica brasileira.** (Tese de Doutorado). São José dos Campos: Instituto de Tecnologia Aeronáutica (ITA), 2016.

- FRANK, A.G.; CORTIMIGLIA, M.N.; RIBEIRO, J.L.D.; DE OLIVEIRA, L.S. **The effect of innovation activities on innovation outputs in the Brazilian industry: market-orientation vs. technology-acquisition strategies**. Res. Pol. 45 (3), 577–592. 2016.
- FREITAS, A. A. F.; HEINECK, L. F. M. **Acumulação de Capacidades Tecnológicas: evidências em empresas de construção civil constituintes de uma rede de aprendizagem**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 7-21. 2014.
- FREUDENBERG, M. **Composite indicators of country performance: A critical assessment**. OECD Science, Technology and Industry Working Papers. Paris: OECD Publishing. 2003
- GAN, X.; ZUO, J.; YE, K.; SKITMORE, M.; XIONG, B. **Why sustainable construction? Why not? An owner's perspective**. Habitat International 47, 61-68. 2015.
- GANN, D.M.; SALTER, A.J. **Innovation in project based, service enhanced firms: the construction of complex products and systems**. Research Policy 29, 955–972. 2000.
- GAO, H.; KOCH, C.; WU, Y. **Building information modelling based building energy modelling: A review**. Appl. Energy 2019, 238, 320–343.
- GAULT, F. **Defining and measuring innovation in all sectors of the economy**. Res. Policy 47, 617–622. 2018.
- GERRISH, T.; RUIKAR, K.; COOK, M. J.; JOHNSON, M.; PHILLIP, M.; LOWRY, C. **BIM application to building energy performance visualisation and management: Challenges and potential**. Energy Build. 144, 218–228. 2017.
- GOSSELIN, C.; DUBALLET, R.; ROUX, P.; GAUDILLIÈRE, N.; DIRRENBERGER, J.; MOREL, P. **Large scale 3D printing of ultra-high performance concrete - A new processing route for architects and builders**. Mater. Des. 100, 102–109. 2016
- GRADVOHL, R. F.; FREITAS, A.A.; HEINECK, L. F. **Desenvolvimento de um modelo para análise da acumulação de recursos tecnológicos na Indústria da construção civil: subsector de edificações**. Ambiente Construído, 11(1), 41-51. 2011.
- HATTAN, H. A.; MADHKHAN, M.; MARANI, A. **Thermal and Mechanical Properties of Building External Walls Plastered with Cement Mortar Incorporating Shape-Stabilized Phase Change Materials (SSPCMs)**. Constr. Build. Mater. 121385. 2020.
- HAUSER, C.; SILLER, M.; SCHATZER, T.; WALDE, J.; TAPPEINER, G. **Measuring regional innovation: A critical inspection of the ability of single indicators to shape technological change**. Technol. Forecast. Soc. Chang. 129, 43–55. 2018.
- HE, Z.; SHEN, A.; WU, H.; WANG, W.; WANG, L.; YAO, C.; WU, J. **Research progress on recycled clay brick waste as an alternative to cement for sustainable construction materials**. Constr. Build. Mater. 274, 122113. 2021.
- HOBER, B.; SCHAARSCHMIDT, M.; VON KORFLESCH, H. **Internal idea contests: Work environment perceptions and the moderating role of power distance**. Journal of Innovation and Knowledge, 30. 2019.

ILLANKOON, I.C.S.; TAM, V.W.Y.; LE, K.N.; SHEN, L. **Key credit criteria among international green building rating tools**. *J. Clean. Prod.* 2017.

ILTER, T., DIKBAS, A., ILTER, D. **An analysis of drivers and barriers of construction innovation**. 5th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC), Antalya, jun. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de volume e valores correntes de out**. – dez. 2019. Rio de Janeiro, 2019. 40p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2121/cnt_2019_4tri.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/paic/quadros/brasil/2018>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE**. 2002. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv1358.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

JEENANUNTA, C.; RITTIPPANT, N.; CHONGPHAISAL, P.; HAMADA, R.; INTALAR, N.; TIENG, K.; CHUMNUMPORN, K. **Human resource development for technological capabilities upgrading and innovation in production networks: A case study in Thailand**. *Asian J. Technol. Innov.* 25, 330–344. 2017.

JENNINGS, S.; PASCOE, S.; HALL-ASPLAND, S.; LE BOUHELLEC, B.; NORMAN-LOPEZ, A.; SULLIVAN, A., PECL, G. **Setting objectives for evaluating management adaptation actions to address climate change impacts in south-eastern Australian fisheries**. *Fish. Oceanogr.* 25, 29–44. 2016.

JIANG, Z.; WANG, Z.; ZENG, Y. **Can voluntary environmental regulation promote corporate technological innovation?** *Strategy Environ.* 1–17. 2019.

JOHANSSON, M.; ROUPÉ, M.; BOSCHSIJTSEMA, P.M. **Real-time visualization of building information models (BIM)**. *Autom. Constr.* 54, 69–82. 2015.

KALAPOUTI, K.; PETRIDIS, K.; MALESIOS, C.; DEY, P.K. **Measuring efficiency of innovation using combined data envelopment analysis and structural equation modeling: empirical study in EU regions**. *Annals of Operations Research*. 2017.

KAMALI, M.; HEWAGE, K. **Life cycle performance of modular buildings: A critical review**. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 62, 1171–1183. 2016.

KATZ, J. **Domestic technology generation in LDCs: A review of research findings**. *Technology Generation in Latin America Manufacturing Industries*, Nova York: St Martin's Press, 1987.

KANG, H.; XUXIANG, L.; JINGJING, W.; JING, Z. **Evaluating ecological vulnerability using the GIS and analytic hierarchy process (AHP) method in Yan'an, China**. *Polish J. Environ. Stud.* 25, 599–605. 2016.

KAWECKI, L.R. **Environmental Performance of Modular Fabrication: Calculating the Carbon Footprint of Energy Used in the Construction of a Modular Home**. Ph.D. Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ, USA, 2010.

- KEHOE, B.; PATIL, S.; ABBEEL, P.; GOLDBERG, K. **A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation**. IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. 12, 398–409. 2015.
- KELLY, B.; PAPANIKOLAOU, D.; SERU, A.; TADDY, M. **Measuring Technological Innovation over the Long Run**. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. 2018.
- KHEYBARI, S.; REZAIE, F. M.; NAJI, S. A. NAJAFI, F. **Evaluation of energy production technologies from biomass using analytical hierarchy process: The case of Iran**. J Clean Prod. 232, 257 -265. 2019.
- KING, M. **How Industry 4.0 and BIM are Shaping the Future of the Construction Environment**. GIM Int. Worldw. Mag. GEOMATICS. 31, 24–25. 2018.
- KOZLOVSKÁ, M.; KALEJA, P.; STRUKOVÁ, Z. **Sustainable construction technology based on building modules**. Adv. Mater. Res. 1041, 231–234. 2014.
- KURAMA, Y.; SRITHARAN, S.; FLEISCHMAN, R. B.; RESTREPO, J. I.; HENRY, R. S.; CLELAND, N. M.; GHOSH, S. K.; BONELLI, P. **Seismic-Resistant Precast Concrete Structures: State of the Art**. J. Struct. Eng. 144. 2018.
- KUZNETSOV A.V. **Economic sustainability of Russia under the conditions of technological transformations. Humanities and Social Sciences. Bulletin of the Financial University**, 9, 6(42), 45-52. 2019.
- LALL, S. **Technological capabilities and industrialization**. World Development, v. 20, n. 2, p. 165-186, 1992.
- LATTANZI, D.; MILLER, G. **Review of Robotic Infrastructure Inspection Systems**. J. Infrastruct. Syst. 23, 1–16. 2017.
- LAXMAN, P. G.; YEONBAE, K. **An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP**. Renew Energy, 129, 446–456. 2018
- LEE, I.; LEE, K. **The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises**. Business Horizons, 58(4):431–440. 2015.
- LI, Y.; DONG, S. F.; AHMED, R.; ZHANG, L. Q.; HAN, B.G. **Improving the mechanical characteristics of well cement using botryoid hybrid nano-carbon materials with proper dispersion**. Constr. Build. Mater. 270, 121464. 2020.
- Li, X.; ZHANG, Q. **AHP-based resources and environment efficiency evaluation index system construction about the west side of Taiwan Straits**. Ann. Oper. Res. 228, 97–111. 2015.
- LIANG, C. J.; LUNDEEN, K. M.; MCGEE, W.; MENASSA, C. C.; LEE, S.; KAMAT, V.R. **A vision-based marker-less pose estimation system for articulated construction robots**. Autom. Constr. 104, 80–94. 2019.
- LIEFNER, I.; JESSBERGER, S. **The use of the analytical hierarchy process as a method of comparing innovation across regions: the examples of the equipment manufacturing industries of Shanghai and Xiamen, China**. Environment and Planning A, (48), 1188–1208. 2016.

- LIN, B.; LUAN, R. **Do government subsidies promote efficiency in technological innovation of China's photovoltaic enterprises?** *J. Clean. Prod.* 254, 120108. 2020.
- LIU C.Y., GAO X.Y., MA W.L., CHEN X.T. **Research on regional differences and influencing factors of green technology innovation efficiency of China's high-tech industry.** 369:1–12. 2020
- LIVOTOV, P.; SEKARAN, A.P.C.; LAW, R.; REAY, D.; SARSENOVA, A.; SAYYAREH, S. **Eco-Innovation in Process Engineering: Contradictions, Inventive Principles and Methods;** Elsevier Ltd.: Amsterdam, The Netherlands; Volume 9. 2019.
- LONG, X.; CHEN, Y.; DU, J.; OH, K.; HAN, I.; YAN, J. **The effect of environmental innovation behavior on economic and environmental performance of 182 Chinese firms.** *Journal of Cleaner Production*, 166, 1274–1282. 2017.
- LUNDEEN, K. M.; KAMAT, V. R.; MENASSA, C. C.; MCGEE, W. **Autonomous motion planning and task execution in geometrically adaptive robotized construction work.** *Autom. Constr.* 100, 24–45. 2019.
- MACHI WAL, D.; JHA, M. K.; MAL, B. C. **Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques.** *Water Resources Management*, 25(5), 1359–1386. 2011.
- MALERBA, F. **Innovation, industrial dynamics and industry evolution: progress and the research agendas.** *Revue de L'OFCE*, Vol. 97No. 5, pp. 21-46. 2006.
- MARADANA, R. P.; PRADHAN, R. P.; DASH, S.; GAURAV, K., JAYAKUMAR, M.; CHATTERJEE, D. **Does innovation promote economic growth? Evidence from European countries.** *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 6 (1): 1-23. 2017.
- MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MARKOV, M. A.; KRASIKOV, A. V.; KRAVCHENKO, I. N. **Development of Novel Ceramic Construction Materials Based on Silicon Carbide for Products of Complex Geometry.** *J. Mach. Manuf. Reliab.* 50, 158–163. 2021.
- MARTÍNEZ-AIRES, M. D.; LÓPEZ-ALONSO, M.; MARTÍNEZ-ROJAS, M. **Building information modeling and safety management: a systematic review.** *Saf. Sci.* 101, 11–18. 2018.
- MARTÍNEZ-ALONSO, R.; MARTÍNEZ-ROMERO, M. J.; ROJO-RAMÍREZ, A. A. **The impact of technological innovation efficiency on firm growth: The moderating role of family involvement in management.** *Eur. J. Innov. Manag.* 2019.
- MASKURIY, R.; SELAMAT, A.; ALI, K.N.; MARESOVA, P.; KREJCAR, O. **Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry?** *Appl. Sci.* 2019.
- MCCOY, A. Y.; Pearce, A. **Towards establishing diffusion barriers for innovative green building products: A survey of sips builders.** *College Publishing* 7, 153-176. 2012

MCKINSEY e COMPANY, **Improving construction productivity**. <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/improving-construction-productivity>, 2020.

MENG, X.; BROWN, A. **Innovation in construction firms of different sizes: drivers and strategies**. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(9), 1210-1225. 2018.

MEZA, S.; TURK, Z.; DOLENE, M. **Component based engineering of mobile BIM-based augmented reality system**. *Autom. Constr.* 42. 1–12. 2014.

MORI, C.; BATALHA, M. O.; ALFRANCA, O. **Capacidade tecnológica: Proposição de índice e aplicação a empresas do complexo agroindustrial do trigo**. *Production*, 24(4), 787–808. 2014.

MORKOVKIN D.; LOPATKIN D.; SADRIDDINOV M.; SHUSHUNOVA T.; GIBADULLIN A.; GOLIKOVA O. **Assessment of innovation activity in the countries of the world**. *E3S Web of Conferences* 157 04015. 2020.

MUKERJI, C. **The Politics of Rediscovery in the History of Science: Tacit Knowledge of Concrete before its Discovery, in Proceedings, American Sociological Association**, Philadelphia, (USA). 2005.

NAHMENS, I.; REICHEL, C. **Adoption of high performance building systems in hot-humid climates-lessons learned**. *Construction innovation* 13, 186-201. 2013

National Institute of Building Science. <https://www.nibs.org>. 2012.

NELSON, R.R.; WINTER, S.G. **Uma teoria evolucionária da mudança econômica**. Campinas: Editora Unicamp. 631 p. 1982. 2005.

NEVES, M. C. **Capacidades e demandas tecnológicas de indústrias alimentícias da baixada cuiabana e o potencial de interação com as universidades matogrossenses**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

OECD/JRC, **Handbook on Constructing Composite Indicators - Methodology and User Guide**. OECD Publishing, Paris. 2008.

OECD, **Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities**, OECD Publishing, Paris. 2015.

OECD/Eurostat, **Manual de Oslo: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 4rd Edition, The Measurement of Scientific and Technological Activities**. OECD Publishing, Paris. 2018.

OLIVA, F.L.; SEMENSATO, B.I.; PRIOSTE, D.B.; WINANDY, E.J.L.; BUTION, J.L., COUTO, M.H.G.; BOTTACIN, M.A.; MAC LENNAN, M.L.F.; TEBERGA, P.M.F.; SANTOS, R.F.; SINGH, S.K.; DA SILVA, S.F.; MASSAINI, S.A. **Innovation in the main Brazilian business sectors: characteristics, types and comparison of innovation**. *Journal of Knowledge Management*, Vol. 23 No. 1, pp. 135-175. 2019.

- ONOCHIE, K.K.; BALKIS, A.P. **Polypropylene fiber reinforced Alker as a structurally stable and sustainable building material**. *J. Clean. Prod.* 279 123600. 2021.
- OROPALLO, W.; PIEGL, L. A. **Ten challenges in 3D printing**. *Eng. Comput.* 32, 135–148. 2016.
- OZORHON, B.; ORAL, K. **Drivers of innovation in construction projects**. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 143 No. 4, pp. 2016.
- PAN, M.; LINNER, T.; PAN, W.; CHENG, H.; BOCK, T. **A framework of indicators for 867 assessing construction automation and robotics in the sustainability context**, *Journal 868 of Cleaner Production*. 82-95. 2018.
- PAUL, S. C.; TAY, Y. W. D.; PANDA, B.; TAN, M. J. **Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction**. *Arch. Civ. Mech. Eng.* 18, 311–319. 2018.
- PENROSE, E. T. **Theory of the growth of the firm**. Oxford: Basil Blackwell, 1959.
- PIPRANI, A. Z.; JAAFAR, N. I.; ALI, S. M. **Prioritizing resilient capability factors of dealing with supply chain disruptions: an analytical hierarchy process (AHP) application in the textile industry**. *Benchmarking: An International Journal*. 2020.
- RAMOS R. A. R. **Localização industrial: um modelo espacial para o noroeste de Portugal**. 2000. 323 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.
- RIBEIRO, C. G. **Compras governamentais e aprendizagem tecnológica: Uma análise da política de compras da petrobras para seus empreendimentos offshore**. PhD Dissertation, Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 2009.
- RODERS, M.; STRAUB, A. **Assessment of the likelihood of implementation strategies for climate change adaptation measures in dutch social housing**. *Building and Environment* 83, 168-176. 2015.
- SAATY, T.L. **How to make a decision: The analytic hierarchy process**. *Eur. J. Oper. Res.* 48, 9–26. 1990
- SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo, Makron Books. 367 p. 1991.
- SAHNI, M.; DAS, S.K. **A method of risk analysis and threat management using analytic hierarchy process: an application to air defence**. *J. Battlefield Technol.* 18, 27. 2015.
- SALAS, J. **De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico**. *Informes de la Construcción*, v. 60, n. 512, 2008.
- SANDANAYAKE, M.; GUNASEKARA, C.; LAW, D.; ZHANG, G.; SETUNGE, S.; Wanijuru, D. **Sustainable criterion selection framework for green building materials—An optimisation based study of fly-ash Geopolymer concrete**. *Sustain. Mater. Technol.* 25, e00178. 2020.

SARTORI, T.; DROGEMULLER, R.; OMRANI, S.; LAMARI, F. **A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS)**. *J. Build. Eng.* 2021.

SATO, Y.; FUJITA, M. **Capability matrix: a framework for analyzing capabilities in value chains**. *Chiba, JP: Institute of Developing Economies, Japan External Trade Organization*, 29 p. 2009.

SANTOS, D. F. L.; BASSO, L. F. C.; KIMURA, H.; KAYO, E. K. **Innovation efforts and performances of Brazilian firms**. *Journal of Business Research*, Vol. 67 No. 4, pp. 527-535. 2014.

SCHOENBORN, J. M. **A Case Study Approach to Identifying the Constraints and Barriers to Design Innovation for Modular Construction**. Master's Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VS, USA, 2012.

SCHUBERT, T.; BAIER, E.; RAMMER, C. **Firm capabilities, technological dynamism and the internationalisation of innovation: A behavioural approach**. *Journal of International Business Studies*, vol. 49, pp. 70-95. 2018.

SCHUMPETER, J.A. **Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process**, *Mcgraw-Hill, New York, NY*. 1939.

SENER, S.; HACIOGLU, V.; AKDEMIR, A. **Invention and innovation in economic change**. *Journal of Economics, Finance and Accounting*, 4(2), 201– 206. 2017.

SEBRAE/DIEESE. *Anuário do trabalho na micro e pequena empresa: 2013*. 6. ed. São Paulo, SP; p. 17. 2013.

Invention and innovation in economic change. *Journal of Economics, Finance and Accounting*, 4(2), 201– 206. 2017.

SEVINC, A.; GÜR, S.; EREN, T. **Analysis of the difficulties of SMEs in industry 4.0 applications by analytical hierarchy process and analytical network process**. *Processes MDPI* 6 (12), 264. 2018.

SISINNI, E., SAIFULLAH, A., HAN, S., JENNEHAG, U. e GIDLUND, M. **Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions**. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11):4724–4734. 2018.

SKIBNIEWSKI, M. **Robotics in civil engineering**. *Southampton, Boston, New York: Computational Mechanics Publications/Van Nostrand Reinhold*. 1988.

SKIBNIEWSKI, M. **On the implementation of industrial robotics in the construction industry, Inżynieria i Budownictwo**. *Engineering and Construction, Journal of Polish Association of Civil Engineers and Civil Engineering Technologists*. (12): 535–536 (in Polish). 1993.

SKIBNIEWSKI M.J., ZAVADSKAS E.K., **Technology development in construction: a continuum from distant past into the future**. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19. 136-147. 2013.

SOLANO, R.; PATIÑO-RUIZ, D.; HERRERA, A. **Preparation of modified paints with nano-structured additives and its potential applications.** *Nanomater. Nanotechnol.* 10. 2020.

SUTADIAN, A.D.; MUTTIL, N.; YILMAZ, A. G.; PERERA, B. J. C. **Using the Analytic Hierarchy Process to identify parameter weights for developing a water quality index.** *Ecol. Indic.* 75, 220–233. 2016.

SONGUR, N.H. **Application of Analytical Hierarchy Process Method in Database Tool Selection.** *Master's Thesis, Institute of Science and Technology, Beykent University, Istanbul, Turkey, 2018.*

STEELE, J.; MURRAY. M. **Creating, Supporting and Sustaining a Culture of Innovation.** *Engineering, Construction and Architectural Management*, 11(5): 316–27. 2004.

STOJCIC, N.; HASHI, I.; ORLIC, E. **Creativity, innovation effectiveness and productive efficiency in the UK.** *European Journal of Innovation Management*, Vol. 21 No. 4, pp. 564-580. 2018.

SUN, C.; JIANG, S.; SKIBNIEWSKI, M.J.; MAN, Q.; SHEN, L. **A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry.** *Technol. Econ. Dev. Econ.* 23, 764–779. 2017.

TIENG, k.; JEENANUNTA, C.; CHEA, P.; RITTIPPANT, N. **Roles of Customers in Upgrading Manufacturing Firm Technological Capabilities Toward Industry 4.0:** *Engineering Management Journal.* 1 – 12. 2021.

TLEUKEN, A.; TOKAZHANOV, G.; GUNEY, M.; TURKYILMAZ, A.; KARACA, F. **Readiness Assessment of Green Building Certification Systems for Residential Buildings during Pandemics.** *Sustainability.* 13, 460. 2021.

TRACHUK, A.V.; LINDER, N.V. **The Impact of technologies of the Industry 4.0 on increase of productivity and transformation of innovative behavior of the industrial companies.** *Strateg. Decis. Risk Manag.* 11, 132–149. 2020.

TONGQIAN, Z.O.U.; FANG, M.; HENGYUN, L.I.; PEI, Z.; YAQING, R.E.N. **Research note: assessment index of international tourism hubs.** *Tourism Econ.* 22, 324–330. 2016.

TZOKAS N, KIM Y. A., AKBAR H., AL-DAJANI, H. **Absorptive capacity and performance: the role of customer relationship and technological capabilities in high-tech SMEs.** *Ind Mark Manag* 47:134–142. 2015.

GASSEL, F. V. **Bouwproductiesystemen in Japan in Bouwen in Japan (Building Production Systems in Japan) in Building in Japan.** ARKO, The Netherlands. 2003

GASSEL, F. V.; MAAS, G. **Mechanizing, robotizing and automating construction process.** *In C. Balaguer and M. Abderrahim (Eds), Robotics and Automation in Construction* (pp. 43-52). Croatia: In-Teh. 2008.

VERHOEVEN, D.; BAKKER, J.; VEUGELERS, R. **Measuring technological novelty with patent-based indicators.** *Res Policy* 45(3):707–723. 2016.

- VILLANI, V.; PINI, F.; LEALI, F.; SECCHI, C. **Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications.** *Mechatronics*. 55, 248–266. 2018.
- WANG, F., YEAP, S.P. **Using magneto-adsorbent for methylene Blue removal: A decisionmaking via analytical hierarchy process (AHP).** *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101948. 2214-7144. 2021.
- WELLER, C.; KLEER, R.; PILLER, F. T. **Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited.** *Int. J. Prod. Econ.* 164, 43–56. 2015.
- WIRSICH, A.; KOCK, A.; STRUMANN, C.; SCHULTZ, C. **Effects of university–industry collaboration on technological newness of firms.** *J Prod Innov Manage* 33(6):708–725. 2016.
- WOLFE, S.; HENDRIKS, E. **Building towards water efficiency: The influence of capacity and capability on innovation adoption in the canadian home-building and resale industries.** *Journal of Housing and the Built Environment* 26, 47-72. 2011.
- WU, P.; XU, Y.; JIN, R.; LU, Q.; MADGWICK, D.; HANCOCK, C. M. **Perceptions towards risks involved in o_-site construction in the integrated design & construction project delivery.** *J. Clean. Prod.* 213, 899–914. 2019.
- XIA, M.; NEMATOLLAHI, B.; SANJAYAN, J. **Printability, accuracy and strength of geopolymer made using powder-based 3D printing for construction applications.** *Autom. Constr.* 101, 179–189. 2019.
- XIAHOU, X.; YUAN, J.; LIU, Y.; TANG, Y.; LI, Q. **Exploring the driving factors of construction industrialization development in china.** *International journal of environmental research and public health* 15, 442. 2018.
- YAM, R. C. M; GUAN, J. C.; PUN, K. F.; TANG, E. **An audit of technological innovation capabilities in chinese firms: some empirical findings in Beijing, China.** *Research Policy, Amsterdam*, v. 33, n. 8, p. 1123-1140. 2004.
- ZAREIYAN, B.; KHOSHNEVIS, B. **E_ects of interlocking on interlayer adhesion and strength of structures in 3D printing of concrete.** *Autom. Constr.* 83, 212–221. 2017
- ZHANG, X.; SKITMORE, M; PENG, Y. **Exploring the challenges to industrialized residential building in china.** *Habitat International*. 41, 176-184. 2014.
- ZHANG, W.; LEE, M. W.; JAILLON, L. C.; POON, C. S. **The hindrance to using prefabrication in Hong Kong’s building industry.** *J. Clean. Prod.* 204, 70–81. 2018.

APÊNDICE A

Roteiro de entrevistas para pesquisa observacional I

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE)

1ª Fase de entrevistas

Após análise bibliográfica sobre a acumulação de Capacidades Tecnológicas em Empresas de Países em Desenvolvimento, este trabalho de pesquisa selecionou cinco (5) macro grupos (classificados nesse trabalho como **Funções de Nível I**) para compor uma ferramenta de medida do nível tecnológico e inovação de empresas voltadas à construção de edificações: Sistema de Gestão; Estágio Tecnológico; Desenvolvimento de CT&I; Rede de Colaboração; e Aprendizagem.

Esta pesquisa considera que as Capacidades Tecnológicas são recursos essenciais para criar e gerenciar transformações tecnológicas, abrangendo habilidades, conhecimentos, experiências e estruturas institucionais e de ligação no interior das empresas e em seu ambiente externo.

Desse modo, classifique as funções de acordo com sua avaliação acerca do impacto que cada função desempenha para o amadurecimento tecnológico de uma empresa de construção de edificações.

Funções (Nível I)	Não Impacta	Pouco Impacta	Impacta	Bom Impacto	Bastante impacto
Sistema de Gestão (inclui projetos de produtos; planejamento estratégico para o desenvolvimento de produtos; gestão de custos com Pesquisa&Desenvolvimento de produtos; e controle de qualidade da produção)					
Estágio Tecnológico (inclui digitalização de produtos e processos; uso de materiais inovadores e com certificação de sustentabilidade; e industrialização e robotização de processos produtivos)					
Desenvolvimento de CT&I (inclui investimento em CT&I; capital humano qualificado; Infraestrutura; Estudo de Mercados; desenvolvimento de pesquisa; e desenvolvimento de soluções tecnológicas)					
Rede de colaboração (inclui colaboração técnica com empresas do segmento; aquisição de tecnologias com fornecedores; parceria com universidades e centros de pesquisa; e incentivos do governo, como subsídios)					
Aprendizagem (inclui qualificação de capital humano com treinamentos internos e/ou externos; feed back e monitoramento do supervisor/treinador; desenvolvimento de habilidades devido à função e/ou projetos de inovação)					
Na sua avaliação, existe algum grande grupo não contemplado nas opções acima no que tange à composição de funções de acumulação de capacidades tecnológicas em empresas de construção de edifícios? Justifique sua resposta.					
Resposta:					

1 - Sistema de Gestão: o uso de técnicas relacionadas a princípios e conceitos gerenciais permite avaliar o suporte da empresa voltado a sua capacidade e dinâmica tecnológica. Para maior compreensão, analise que o fato de haver planejamento e controle da produção significa que a organização entende a importância de desenvolver e executar estratégias que determinam a qualidade do produto. A prática dessas ações de gestão depende de um conjunto de informações e decisões que incluem perspectivas de curto e longo prazo que contém indicativos do conhecimento e tecnologia disponíveis na empresa. Considerando o exposto, avalie os Elementos Nível II que formam a Função Sistema de Gestão.

Funções (Nível II)	Não Impacta	Pouco Impacta	Impacta	Bom Impacto	Bastante impacto
Projeto de Produtos (Inclui as ações necessárias para o desenvolvimento de projeto de produto)					
Planejamento (Inclui as ações de planejamento estratégico e planejamento da produção)					
Custo (Inclui as ações de gestão de custo)					
Controle e Qualidade (Inclui as ações de controle e qualidade do produto)					
Na sua avaliação, existe algum grupo não contemplado nas opções acima no que tange à composição do grupo sistema de gestão? Justifique sua resposta.					
Resposta:					

- a) Quais ações você considera necessárias para a elaboração e gestão de projetos de construção de edifícios?

- b) Quais ações do planejamento estratégico você considera necessárias visando transformações tecnológicas em empresas de construção de edifícios?
- c) Quais ações de planejamento da produção que você considera necessárias em empresas de construção de edifícios?
- d) Quais ações de gestão de custos você considera necessárias em empresas de construção de edifícios?
- e) Quais ações de controle e qualidade do produto você considera necessárias em empresas de construção de edifícios?

2 – Estágio Tecnológico: o estágio tecnológico de uma empresa é compreendido como a capacidade de alcançar e absorver novas tecnologias e inovações. Além disso, revela o nível de domínio tecnológico e a forma como foi acumulado na organização, pois o cenário atual é um indicativo do efeito das decisões estratégicas tomadas no passado e da soma dos conhecimentos existentes aplicados ao processo produtivo. Considerando o exposto, avalie os Elementos de Nível II que formam a Função Estágio Tecnológico.

Funções (Nível II)	Não Impacta	Pouco Impacta	Impacta	Bom Impacto	Bastante impacto
Digitalização de Produtos e Processos (abrange a Internet das Coisas. Utilização do BIM em projetos e canais digitais)					
Materiais (abrange a utilização de materiais inovadores e com certificação de sustentabilidade.)					
Industrialização e robotização (trata-se da tecnologia vigente na empresa para a execução das etapas mais relevantes de uma obra)					
Na sua avaliação, existe algum grupo não contemplado nas opções acima no que tange à composição do grupo Estágio Tecnológico? Justifique sua resposta.					
Resposta:					

- a) Quais atividades de construção de edifícios você avalia que são melhoradas com o uso da internet das coisas?
- b) Quais atividades (concepção, planejamento ou controle da construção de edifícios) você avalia que são melhoradas com o uso da tecnologia BIM?
- c) Quais possíveis usos uma construtora de edificações poderia fazer de canais digitais?
- d) Para uma construtora de edificações ser considerada inovadora quanto à utilização de materiais, você considera necessária uma matriz própria de desenvolvimento de materiais? Você acha que um parâmetro de avaliação interessante nesse caso seria verificar o número de materiais desenvolvidos pela própria empresa para seus empreendimentos em um determinado período de tempo?
- e) Para uma construtora de edificações ser considerada inovadora, você acha que ela precisa utilizar materiais com certificação de sustentabilidade? Você acha que um parâmetro de avaliação interessante nesse caso seria verificar o número de materiais com certificação de sustentabilidade usados pela empresa em seus empreendimentos em um determinado período de tempo?
- f) Quais etapas de uma construção de edifícios você avalia como importante industrializar e/ou robotizar?

3 – Desenvolvimento de CT&I: competitividade de uma empresa está ligada ao conjunto de capacitações e competências acumuladas ao longo do tempo. Avalie os Elementos Nível II que formam a Função Desenvolvimento de CT&I capazes de gerar transformações tecnológicas. Considerando o exposto, avalie os Elementos Nível II que formam a Função Sistema de Gestão.

Funções (Nível II)	Não Impacta	Pouco Impacta	Impacta	Bom Impacto	Bastante impacto
Investimento (Incluir gastos internos e externos com pesquisa e desenvolvimento de produtos)					
Capital Humano (Inclui a avaliação do corpo técnico para pesquisa e desenvolvimento de produtos)					
Infraestrutura (Existência de espaço físico, equipamentos e softwares para o desenvolvimento de produtos e pesquisa.)					
Mercados Potenciais (Abrange tecnologias difundidas e inovadoras disponíveis no mercado e que podem ser aplicadas na organização com fins de vantagem competitiva.)					
Pesquisa (Abrange a prática de pesquisa básica e aplicada com o objetivo de desenvolver ou melhorar produtos e serviços ofertados com fins de alcançar vantagem competitiva no mercado.)					
Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas (Abrange a utilização, na produção, de tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa; inclui também a realização de práticas de engenharia reversa; e a realização de melhorias tecnológicas em produtos ou softwares adquiridos.)					
Na sua avaliação, existe algum grupo não contemplado nas opções acima no que tange à composição do grupo Desenvolvimento de CT&I? Justifique sua resposta.					
Resposta:					

- a) Quais gastos você considera fundamentais para o desenvolvimento de CT&I em uma construtora de edificações?
- b) Quais ações de gestão de capital humano uma empresa de construção de edificações deve realizar para o desenvolvimento de CT&I?

- c) Quais as suas considerações acerca da necessidade de um espaço físico para o desenvolvimento de CT&I em empresa do subsetor edificações?
- d) Quais as suas considerações acerca de equipamentos para o desenvolvimento de CT&I em empresa do subsetor edificações?
- e) Quais as suas considerações acerca de softwares para o desenvolvimento de CT&I em empresa do subsetor edificações?
- f) Quais ações de estudo de mercado você considera que devem ser executadas por construtoras de edificações visando transformações tecnológicas?
- g) Como você avalia a realização de pesquisa básica por construtoras para o desenvolvimento de produtos?
- h) Como você avalia a realização de pesquisa aplicada por construtoras para o desenvolvimento de produtos?
- i) Quais ações possuem eficiência em relação ao desenvolvimento de soluções tecnológicas em uma construtora de edificações?

4 – Rede de Colaboração: a existência de uma rede de relações externas à empresa permite com que a mesma tenha maior capacidade para desenvolver, adaptar e usar tecnologias e inovações. Nesse sentido, avalie os Elementos de Nível II que formam a Função Rede de Colaboração.

Funções (Nível II)	Não Impacta	Pouco Impacta	Impacta	Bom Impacto	Bastante impacto
Empresas do segmento (Abrange ações de articulação com empresas do segmento para colaboração técnica: participação em feiras; acordos formais e informais de colaboração técnica)					
Fornecedores (Abrange a relação entre empresa e fornecedores para a aquisição de inovação e tecnologia)					
Universidades e centros de pesquisa (Abrange parcerias formais e informais com universidades e centros de pesquisa para o desenvolvimento de pesquisa e produtos)					

Governo (Abrange as ações que o governo pode implementar para estimular a inovação e o desenvolvimento tecnológico nas organizações)					
Na sua avaliação, existe algum grupo não contemplado nas opções acima no que tange à composição do grupo Rede de Colaboração? Justifique sua resposta.					
Resposta:					

- a) Quais ações de colaboração técnica você considera importantes entre construtoras de edificações visando transformações tecnológicas?
- b) Comente acerca da relação entre construtoras de edificações e fornecedores para aquisição de tecnologias e inovações.
- c) Quais ações você considera importantes para colaboração técnica entre universidades e centros de pesquisa com construtoras de edificações?
- d) Quais ações você considera importantes, por parte do governo, para estimular construtoras de edificações a desenvolver CT&I?

5 – Aprendizagem: O perfil de formação e aprimoramento do capital humano da empresa são fundamentais para o processo de inovação, adequação e uso de tecnologias. Nesse sentido, avalie os Elementos do Nível II que formam a Função Aprendizagem.

Funções (Nível II)	Não Impacta	Pouco Impacta	Impacta	Bom Impacto	Bastante impacto
Aprendizagem Interna (Ações internas de desenvolvimento do processo de aprendizagem)					

Aprendizagem Externa (Ações externas de desenvolvimento do processo de aprendizagem)

--	--	--	--	--

Na sua avaliação, existe algum grupo não contemplado nas opções acima no que tange à composição do grupo Aprendizagem? Justifique sua resposta.

Resposta:

- a) Quais ações você considera importantes para o processo interno de aprendizagem de construtoras de edificações?
- b) Quais ações você considera importantes para o processo externo de aprendizagem de construtoras de edificações?

APÊNDICE B

Roteiro de entrevistas para pesquisa observacional II

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e

Desenvolvimento Energético (PPGINDE)

2ª Fase – Questionário Método AHP

Use a escala de importância apresentada e avalie “par a par” os parâmetros de acumulação da capacidade tecnológica para o subsetor de edificações contidos nas matrizes.

Escala de importância								
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente menos importante	Bastante menos importante	Muito menos importante	Pouco menos importante	Mesmo grau de importância	Pouco mais importante	Muito mais importante	Bastante mais importante	Extremamente mais importante

Exemplo de análise:

	Indicador A	Indicador B	Indicador C
Indicador A	-	5*	1/9**
Indicador B	-	-	1***
Indicador C	-	-	-

* O Parâmetro A é muito mais importante em relação ao Parâmetro B;

** O Parâmetro A é extremamente menos importante em relação ao Parâmetro C;

*** O Parâmetro B possui o mesmo grau de importância em relação ao Parâmetro C.

Grupos:

Matriz de Capacidade Tecnológica do Subsetor Edificações					
	Sistema de Gestão	Estágio Tecnológico	Desenvolvimento de CT&I	Redes de Colaboração	Aprendizagem
Sistema de Gestão	-				
Estágio Tecnológico	-	-			
Desenvolvimento de CT&I	-	-	-		
Redes de Colaboração	-	-	-	-	
Aprendizagem	-	-	-	-	-

Subgrupos do Grupo Sistema de gestão:

Matriz Sistema de Gestão				
	Gestão de Projeto	Planejamento	Custo	Controle e Qualidade
Gestão de Projeto	-			
Planejamento	-	-		
Custo	-	-	-	
Controle e Qualidade	-	-	-	-

Subgrupos do Grupo Estágio Tecnológico:

Nota: considere o impacto tecnológico que a modernização de uma das etapas causa em relação ao contexto geral da obra (redução no desperdício de materiais, no quantitativo de mão de obra, nos prazos e etc.).

Matriz Estágio Tecnológico			
	Digitalização de produtos e processos	Materiais	Industrialização e robotização
Digitalização de produtos e processos	-		
Materiais	-	-	
Industrialização e robotização	-	-	-

Indicadores do subgrupo Digitalização de Produtos e Processos:

Matriz de Digitalização de Produtos e Processos			
	Internet das Coisas	Modelagem de informação da construção (BIM)	Canais Digitais
Internet das Coisas	-		
Modelagem de informação da construção (BIM)	-	-	
Canais Digitais	-	-	-

Indicadores do subgrupo Materiais

Matriz de Materiais		
	Materiais Inovadores	Materiais com certificação de sustentabilidade
Materiais Inovadores	-	
Materiais com certificação de sustentabilidade	-	-

Indicadores do subgrupo Industrialização e Robotização

Nota: considere a etapa da obra onde o processo de industrialização e robotização possui mais impacto.

Matriz Digitalização de Produtos e Processos				
	Sistema construtivo de fundações e estruturas	Sistema construtivo para vedação	Sistema construtivo de revestimentos	Sistema construtivo de instalações
Sistema construtivo de fundações e estruturas	-			
Sistema construtivo para vedação	-	-		
Sistema construtivo de revestimentos	-	-	-	
Sistema construtivo de instalações	-	-	-	-

Subgrupos do Grupo Desenvolvimento de CT&I:

Matriz de Desenvolvimento de Ciência, Tecnologia e Inovação						
	Investimento	Capital Humano	Infraestrutura	Estudo de mercados potenciais	Pesquisa	Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas
Investimento	-					
Capital Humano	-	-				
Infraestrutura	-	-	-			
Estudo de mercados potenciais	-	-	-	-		
Pesquisa	-	-	-	-	-	
Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas	-	-	-	-	-	-

Indicadores do Subgrupo Investimento:

Matriz de Investimento						
	Gastos internos em pesquisa e desenvolvimento de produtos	Gastos em financiamento externo de pesquisa e desenvolvimento de produtos	Gastos com aquisição de equipamentos	Gastos em contratação de corpo técnico	Gastos com aquisição de softwares	Gastos na qualificação de corpo técnico
Gastos internos em pesquisa e desenvolvimento de produtos	-					
Gastos em financiamento externo de pesquisa e desenvolvimento de produtos	-	-				
Gastos com aquisição de equipamentos	-	-	-			
Gastos em contratação de corpo técnico	-	-	-	-		
Gastos com aquisição de softwares	-	-	-	-	-	
Gastos na qualificação de corpo técnico	-	-	-	-	-	-

Indicadores do subgrupo Capital Humano:

Matriz de capital Humano			
	Funcionários que atuam com pesquisa e desenvolvimento de produtos	Funcionários com pós-graduação que atuam com pesquisa e desenvolvimento de produtos	Funcionários treinados pela empresa para atuar com pesquisa e desenvolvimento
Funcionários que atuam com pesquisa e desenvolvimento de produtos	-		
Funcionários com pós-graduação que atuam com pesquisa e desenvolvimento de produtos	-	-	
Funcionários treinados pela empresa para atuar com pesquisa e desenvolvimento	-	-	-

Indicadores do Subgrupo Estudo de Mercados Potenciais:

Matriz de Estudo de Mercados Potenciais			
	Análise das tecnologias difundidas	Análise de tecnologias inovadores	Análise em relação aos produtos e serviços ofertados
Análise das tecnologias difundidas	-		
Análise de tecnologias inovadores	-	-	
Análise em relação aos produtos e serviços ofertados	-	-	-

Indicadores do Subgrupo Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas:

Matriz de Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas			
	Utilização, na produção, de tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa	Utilização de engenharia reversa	Realiza melhorias tecnológica em produtos ou <i>softwares</i> adquiridos
Utilização, na produção, de tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa	-		
Utilização de engenharia reversa	-	-	
Realiza melhorias tecnológica em produtos ou <i>softwares</i> adquiridos	-	-	-

Subgrupos do Grupo Rede de Colaboração:

Matriz de Rede de Colaboração			
	Empresas do Segmento	Fornecedores	Universidades e Centros de Pesquisa
Empresas do Segmento	-		
Fornecedores	-	-	
Universidades e Centros de Pesquisa	-	-	-

Subgrupos do Grupo Aprendizagem:

Aprendizagem		
	Processos internos	Processos Externos
Processos internos	-	
Processos Externos	-	-

APÊNDICE C

Matriz das CT em empresas de construção de edifícios

Grupo	Peso	Subgrupo	Peso	Indicador	Peso	Escala
Sistema de gestão	0,25	Projeto de Produto	0,3	Ações de projeto de produtos	1	a - Elaboração de programa de necessidades; b - Realização de análise de viabilidade técnica e econômica; c - Seleção de sistemas construtivos inovadores; d - Análise do ciclo de vida dos materiais; e - Compatibilização de projetos; f - Acompanhamento dos impactos de projetos desenvolvidos.
		Planejamento	0,3	Ações de planejamento estratégico	0,42	a - Identificação de pontos fortes e fraquezas internas; b - Identificação de oportunidades e ameaças externas; c - Identificação de stakeholders críticos; d - Formulação de plano estratégico de acordo com visão e missão empresarial; e - Avaliação do planejamento estratégico implementado.
				Ações de planejamento de produção	0,58	a - Definição da sequência de execução da unidade base de produção (utilização do diagrama de rede); b - Definição dos fluxos de trabalho na unidade base (utilização de linha de balanço); c - Estratégia de execução do empreendimento; d - Estudo do fluxo de trabalho (diagrama de sincronia); e - Dimensionamento da capacidade de recursos de produção (equipamentos e mão de obra) (utilização de histogramas); f - Identificação e projeto dos processos críticos.
		Custo	0,24	Ações de gestão de custo	1	a - Utilização de ferramenta para visualização e mapeamento de custos por etapa do processo produtivo; b - Identificação de custos diretos de produção; c - Identificação de custos fixos de produção; d - Identificação de custos variáveis de produção; e - Identificação de custos indiretos de produção; f - Identificação de custos com perdas e/ou desperdício
		Controle e Qualidade	0,16	Ações de controle e qualidade	1	a - Existência de equipe específica para controle de qualidade; b - Definição de plano de controle do processo produtivo; c - Estudo da produtividade da mão de obra; d - Critérios para recebimento e armazenamento de materiais, máquinas e equipamentos; e - Definição de ações preventivas em máquinas e equipamentos; f - Definição de plano de controle de custos; g - Realização de avaliação do desempenho do setor de projetos; h - Realização de avaliação do produto ou serviço final; i - Realização de avaliação de participação no mercado; j - Avaliação de resultados com publicidade; k - Avaliação dos níveis de rotatividade de funcionários; l - Obtenção de certificação de qualidade dos processos produtivos.
Digitalização de Produtos e Processos	0,42		0,42	Ações de uso da internet das coisas	0,24	a - Não utiliza; b - Utiliza para monitoramento de materiais; c - Utiliza para monitoramento de mão de obra; d - Utiliza para monitoramento de processos; e - Utiliza para confiabilidade e segurança patrimonial.
				Ações de uso da modelagem de informações de construção (BIM)	0,38	a - Não utiliza; b - Utiliza para finalidade de desenho; c - Utiliza para gerenciamento de projetos; d - Utiliza para análise de desempenho e custo.

Grupo	Peso	Subgrupo	Peso	Indicador	Peso	Escala
Estágio Tecnológico	0,46			Ações de uso dos Canais digitais	0,38	a - Não utiliza; b - Utiliza para divulgação de produtos e serviços; c - Utiliza para compras e vendas; d - Utiliza para relacionamento com stakeholders críticos para feedback de impactos da atuação.
				Materiais	0,13	Materiais inovadores
		Materiais com certificação de sustentabilidade	0,37			Nível 1: 0 - 5; Nível 2: 6 - 10; Nível 3: 10 - 15; Nível 4: Acima de 15
		Sistema construtivo de fundações e estruturas	0,4			Nível 1: Tradicional: moldagem in loco dos componentes, por meio de processos manuais; Nível 2: Mecanizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos com operação humana; Nível 3: Processo robotizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com operação humana; Nível 4: Processo automatizado I: utilização de elementos pré-fabricados inseridos por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial; Nível 5: Processo automatizado II: utilização de sistema construtivo moldados in loco por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial; Nível 6: Processo automatizado III: utilização de elementos pré-fabricados inseridos por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.
				Sistema construtivo para vedação	0,2	Nível 1: Processo tradicional: utilização de componentes para montagem in loco, por meio de processos manuais; Nível 2: Processo racionalizado: utilização de componentes para montagem in loco, por meio de processos manuais, mas com eficiência na utilização dos materiais; Nível 3: Racionalizado II: montagem in loco de elementos, por meio de processos manuais; Nível 4: Mecanizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos com operação humana; Nível 5: Robotizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com operação humana; Nível 6: Automatizado I: utilização de elementos pré-fabricados inseridos por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial; Nível 7: Automatizado II: utilização de sistema construtivo moldados in loco por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.
Industrialização e Robotização	0,45					

Grupo	Peso	Subgrupo	Peso	Indicador	Peso	Escala
				Sistema construtivo de revestimentos	0,15	Nível 1: Tradicional: moldagem in loco dos componentes, por meio de processos manuais; Nível 2: Mecanizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos com operação humana; Nível 3: Processo robotizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com operação humana; Nível 4: Processo automatizado I: utilização de elementos pré-fabricados inseridos por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial; Nível 5: Processo automatizado II: utilização de sistema construtivo moldados in loco por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.
				Sistema construtivo de instalações	0,25	Nível 1: Tradicional: realizada manualmente; Nível 2: Mecanizado: realizada com a utilização de equipamento com operação humana; Nível 3: Robotizado: realizadas por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com operação humana; Nível 4: Automatizado: aplicados por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.
		Investimento	0,31	Gastos (% em relação à receita) em pesquisa e desenvolvimento de produtos na empresa nos últimos 3 anos	0,31	
				Gastos (% em relação à receita) em financiamento externo de pesquisa e desenvolvimento de produtos nos últimos 3 anos	0,18	
				Gastos (% em relação à receita) com aquisição de equipamentos nos últimos 3 anos	0,13	
				Gastos (% em relação à receita) com contratação de corpo técnico de engenharia (nível superior) nos últimos 3 anos	0,14	
				Gastos (% em relação à receita) com aquisição de softwares nos últimos 3 anos	0,09	
				Gastos (% em relação à receita) na qualificação de corpo técnico de engenharia nos últimos 3 anos	0,15	

Grupo	Peso	Subgrupo	Peso	Indicador	Peso	Escala
Desenvolvimento de CT&I	0,06	Capital Humano	0,15	Quantidade (% em relação ao total de funcionários) de funcionários que atuam com pesquisa e desenvolvimento de produtos na empresa	0,19	
				Quantidade (% em relação ao total de funcionários) de funcionários com pós-graduação que atuam com pesquisa e desenvolvimento de produtos na empresa	0,4	
				Quantidade (% em relação ao total de funcionários) de funcionários treinados pela empresa para atuar com pesquisa e desenvolvimento de produtos	0,41	
		Infraestrutura	0,16	Ações de controle e qualidade		Nível 1: Não possui setor de pesquisa e desenvolvimento de produtos; Nível 2: Possui setor de pesquisa e desenvolvimento de produtos e utiliza infraestrutura de universidades e/ou centros de pesquisa; Nível 3: Possui setor de pesquisa e desenvolvimento de produtos e utiliza infraestrutura de universidades e/ou centros de pesquisa e dispõe de laboratórios próprios equipados.
		Estudo de Mercados Potenciais	0,12	Análise das tecnologias difundidas	0,31	Nível 1: Não realiza essa atividade; Nível 2: Realiza por meio da internet, jornais, revistas etc.; Nível 3: Realiza ou financia pesquisa de campo para verificação de tecnologias empregadas
				Análise de tecnologias inovadoras	0,31	Nível 1: Não realiza essa atividade; Nível 2: Realiza por meio da internet, jornais, revistas etc.; Nível 3: Realiza ou financia pesquisa de campo para verificação de tecnologias empregadas
				Análise de produtos e serviços ofertados	0,38	Nível 1: Não realiza essa atividade; Nível 2: Verifica a percepção dos clientes; Nível 3: Verifica a percepção de todos os agentes envolvidos até a fase final do produto (técnicos e engenheiros projetistas e de execução, equipe de marketing e venda, clientes e etc.).
		Pesquisa	0,18	Produção de pesquisa aplicada	1	a - Sim; b - Não.
		Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas	0,08	Utilização, na produção, de tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa	0,55	a - Sim; b - Não.
				Realização de práticas de engenharia reversa	0,15	a - Sim; b - Não.
				Realização de melhorias tecnológica em produtos ou softwares adquiridos	0,3	a - Sim; b - Não.

Grupo	Peso	Subgrupo	Peso	Indicador	Peso	Escala
Redes de colaboração	0,1	Empresas do Segmento	0,23	Troca de conhecimento técnico com empresas do setor	1	Nível 1: Não possui parcerias com outras empresas; Nível 2: Possui parcerias informais com outras empresas; Nível 3: Possui parcerias formais com outras empresas para o desenvolvimento de produtos e serviços
		Fornecedores	0,54	Tecnologias e/ou inovações obtidas através de parceria com fornecedores.	1	Nível 1: Não utiliza tecnologias e inovações provenientes de fornecedores; Nível 2: Aplica tecnologia ou inovação provenientes de fornecedores.
		Universidades e Centros de Pesquisa	0,23	Desenvolvimento de pesquisa em parceria com universidades ou centros de pesquisa	1	Nível 1: Não possui parcerias com universidades e centros de pesquisa; Nível 2: Possui parcerias informais com universidades e centros de pesquisa; Nível 3: Possui parcerias formais com universidades e centros de pesquisa para o desenvolvimento de produtos e serviços.
Aprendizagem	0,13	Processos Internos	0,58	Somatório de ações de aprendizagem interna	1	1 - Treinamentos com técnicos do quadro interno; 2 - Aprendizagem devido ao uso de tecnologias empregadas; 3 - Aprendizagem devido ao desenvolvimento de CT&I
		Processos Externos	0,42	Somatório de ações de aprendizagem externa	1	1 - Consultoria com especialistas; 2 - Participação em eventos técnicos; 3 - Participação em eventos científicos. 4 - Treinamentos com profissionais externos ou em instituições; 5 - Aprendizagem devido ao contato com novas tecnologias apresentadas por fornecedores; 6 - Aprendizagem vinda do feedback de clientes.

APÊNDICE D

Roteiro de entrevistas para pesquisa observacional III – Parte I

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e
Desenvolvimento Energético (PPGINDE)

Perfil da Empresa

Nome da empresa: _____ **Nome do Colaborador:** _____

Função do colaborador: _____ **Tempo de atuação da empresa:** _____

Atuação da Organização: () Somente em um estado () Em vários Estados
() Em vários estados e fora do Brasil

Número de colaboradores:

Tipo de Edificação Executada: () Edificações Residenciais () Edificações
Comerciais () Edificações Industriais () Outros

Qual o perfil das inovações que a empresa adota?

Descreva a estratégia da empresa para adoção de tecnologia:

APÊNDICE E

Roteiro de entrevistas para pesquisa observacional III – Parte II

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e
Desenvolvimento Energético (PPGINDE)

Ferramenta de Avaliação da Capacidade Tecnológica no Subsetor Edificações.

1 – Assinale as ações que são realizadas pela sua empresa em relação à elaboração de projetos. NOTA: pode marcar várias opções.

a - Elaboração de programa de necessidades.	
b - Realização de análise de viabilidade técnica e econômica.	
c - Seleção de sistemas construtivos inovadores.	
d - Análise do ciclo de vida dos materiais.	
e - Compatibilização de projetos.	
f - Acompanhamento dos impactos de projetos desenvolvidos.	

2 – Assinale as ações realizadas pela sua empresa em relação ao planejamento estratégico da organização. NOTA: pode marcar várias opções.

a - Identificação de pontos fortes e fraquezas internas.	
b - Identificação de oportunidades e ameaças externas.	
c - Identificação de stakeholders críticos.	
d - Formulação de plano estratégico de acordo com visão e missão empresarial.	
e - Avaliação do planejamento estratégico implementado.	

3 – Assinale as ações realizadas pela sua empresa em relação ao planejamento de produção. NOTA: pode marcar várias opções.

a - Definição da sequência de execução da unidade base de produção (utilização do diagrama de rede).	
b - Definição dos fluxos de trabalho na unidade base (utilização de linha de balanço).	
c - Estratégia de execução do empreendimento.	
d - Estudo do fluxo de trabalho (diagrama de sincronia).	
e - Dimensionamento da capacidade de recursos de produção (equipamentos e mão de obra) (utilização de histogramas).	
f - Identificação e projeto dos processos críticos.	

4 – Assinale as ações realizadas pela sua empresa em relação ao controle de custos. NOTA: pode marcar várias opções.

a - Utilização de ferramenta para visualização e mapeamento de custos por etapa do processo produtivo.	
b - Identificação de custos diretos de produção.	
c - Identificação de custos fixos de produção.	
d - Identificação de custos variáveis de produção.	
e - Identificação de custos indiretos de produção	
f - Identificação de custos com perdas e/ou desperdício	

5 – Assinale as ações que são realizadas pela sua empresa em relação ao controle de qualidade. NOTA: pode marcar várias opções.

a - Existência de equipe específica para controle de qualidade.	
b - Definição de plano de controle do processo produtivo.	
c - Estudo da produtividade da mão de obra.	
d - Critérios para recebimento e armazenamento de materiais, máquinas e equipamentos.	
e - Definição de ações preventivas em máquinas e equipamentos.	
f - Definição de plano de controle de custos.	
g - Realização de avaliação do desempenho do setor de projetos.	
h - Realização de avaliação do produto ou serviço final.	
i - Realização de avaliação de participação no mercado.	
j - Avaliação de resultados com publicidade.	
k - Avaliação dos níveis de rotatividade de funcionários.	
l - Obtenção de certificação de qualidade dos processos produtivos.	

6 – Como é realizado o uso da Internet das Coisas pela sua empresa? NOTA: pode marcar várias opções.

a - Não utiliza	
b - Utiliza para monitoramento de materiais.	
c - Utiliza para monitoramento de mão de obra.	
d - Utiliza para monitoramento de processos.	
e - Utiliza para confiabilidade e segurança patrimonial.	

7 – Como ocorre a utilização da Plataforma BIM pela sua empresa? NOTA: pode marcar várias opções.

a - Não utiliza	
b - Utiliza para finalidade de desenho	
c - Utiliza para gerenciamento de projetos.	
d - Utiliza para análise de desempenho e custo.	

8 – Como a sua empresa utiliza os canais digitais?

a - Não utiliza	
-----------------	--

b - Utiliza para divulgação de produtos e serviços.	
c - Utiliza para compras e vendas.	
d - Utiliza para relacionamento com stakeholders críticos para feedback de impactos da atuação.	

9 – Um material de construção inovador é um material novo para a empresa ou para o mercado e que gera alguma vantagem competitiva mediante sua aplicação. Desse modo, cite quantos materiais de construção inovadores foram usados pela sua empresa durante os últimos três anos.

a - 0 - 5	
b - 6 - 10	
c - 10 - 15	
d - Acima de 15	

10 – Quantos materiais de construção com certificação de sustentabilidade foram usados pela sua empresa durante os últimos três anos?

a - 0 - 5	
b - 6 - 10	
c - 10 - 15	
d - Acima de 15	

11 – Qual das descrições abaixo mais se aproxima do método de execução usado atualmente pela sua empresa para o Sistema Construtivo de Fundação e Estrutura?

a - Tradicional: moldagem in loco dos componentes, por meio de processos manuais.	
b - Mecanizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos com operação humana.	
c - Processo robotizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com operação humana.	
d - Processo automatizado I: utilização de elementos pré-fabricados inseridos por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.	
e - Processo automatizado II: utilização de sistema construtivo moldados in loco por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.	
f - Processo automatizado III: utilização de elementos pré-fabricados inseridos por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.	

12 – Qual das descrições abaixo mais se aproxima do método de execução usado atualmente pela sua empresa para o Sistema Construtivo Vedação?

a - Tradicional: moldagem in loco dos componentes, por meio de processos manuais.	
b - Mecanizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos com operação humana.	
c - Processo robotizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com operação humana.	
d - Processo automatizado I: utilização de elementos pré-fabricados inseridos por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.	
e - Processo automatizado II: utilização de sistema construtivo moldados in loco por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.	

13 – Qual das descrições abaixo mais se aproxima do método de execução usado atualmente pela sua empresa para o Sistema Construtivo Revestimentos?

a - Processo tradicional: utilização de componentes para montagem in loco, por meio de processos manuais.	
b - Processo racionalizado: utilização de componentes para montagem in loco, por meio de processos manuais, mas com eficiência na utilização dos materiais	
c - Racionalizado II: montagem in loco de elemntos, por meio de processos manuais.	
d - Mecanizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos com operação humana.	
e - Robotizado: utilização de elementos pré-fabricados montados em obra por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com operação humana.	
f - Automatizado I: utilização de elementos pré-fabricados inseridos por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.	
g - Automatizado II: utilização de sistema construtivo moldados in loco por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.	

14 – Qual das descrições abaixo mais se aproxima do método de execução usado atualmente pela sua empresa para os Sistemas Construtivos de Instalações?

a - Tradicional: realizada manualmente.	
b - Mecanizado: realizada com a utilização de equipamento com operação humana.	
c - Robotizado: realizadas por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com operação humana.	
d - Automatizado: aplicados por meio de equipamentos guiados por computadores e softwares com inteligência artificial.	

15 – Quanto sua empresa gastou em pesquisa e desenvolvimento de produtos nos últimos 3 anos (% em relação à receita)?

16 – Quanto sua empresa gastou em financiamento externo de pesquisa e desenvolvimento de produtos nos últimos 3 anos (% em relação à receita)?

17 – Quanto sua empresa gastou com aquisição de equipamentos nos últimos 3 anos (% em relação à receita)?

18 – Quanto sua empresa gastou com contratação de corpo técnico de engenharia de nível superior nos últimos 3 anos (% em relação à receita)?

19 – Quanto sua empresa gastou com aquisição de softwares nos últimos 3 anos (% em relação à receita)?

20 – Quanto sua empresa gastou com qualificação de corpo técnico de engenharia nos últimos 3 anos (% em relação à receita)?

21 – Qual a quantidade de funcionários com atuação em pesquisa e desenvolvimento de produtos na sua empresa (% em relação ao total de funcionários)?

22 – Qual a quantidade de funcionários com pós-graduação para atuação com pesquisa e desenvolvimento de produtos na sua empresa (% em relação ao total de funcionários)?

23 – Qual a quantidade de funcionários treinados pela empresa para atuação com pesquisa e desenvolvimento de produtos (% em relação ao total de funcionários)?

24 – Sua empresa possui setor de pesquisa e desenvolvimento de produtos? NOTA: pode marcar mais de uma opção.

a - Não possui setor de pesquisa e desenvolvimento de produtos	
b - Possui setor de pesquisa e desenvolvimento de produtos e utiliza infraestrutura de universidades e/ou centros de pesquisa	
c - Possui setor de pesquisa e desenvolvimento de produtos e utiliza infraestrutura de universidades e/ou centros de pesquisa e dispõe de laboratórios próprios equipados.	

25 – Sua empresa faz a análise de tecnologias difundidas no mercado? NOTA: pode marcar mais de uma opção.

a - Não realiza essa atividade	
b - Realiza por meio da internet, jornais, revistas.	
c - Realiza ou financia pesquisa para verificação de tecnologias empregadas	

26 – Sua empresa faz a análise de tecnologias inovadoras no mercado? NOTA: pode marcar mais de uma opção.

a - Não realiza essa atividade	
b - Realiza por meio da internet, jornais, revistas.	
c - Realiza ou financia pesquisa para verificação de inovações empregadas.	

27 – Sua empresa analisa o impacto dos produtos e serviços ofertados? NOTA: pode marcar mais de uma opção.

a - Não realiza essa atividade	
b - Verifica apenas a percepção dos clientes.	
c - Verifica a percepção de todos os agentes envolvidos até a fase final do produto (técnicos e engenheiros projetistas e de execução, equipe de marketing e venda, clientes e etc.)	

28 – Sua organização realiza pesquisa aplicada?

a - Sim	
b - Não	

29 – Sua organização utiliza, na produção, tecnologias desenvolvidas ou financiadas pela empresa?

a - Sim	
b - Não	

30 – Sua organização realiza práticas de engenharia reversa?

a - Sim	
b - Não	

31 – Sua organização realiza adaptação ou melhoria tecnológica em materiais, produtos, equipamento ou softwares adquiridos?

a - Sim	
b - Não	

32 – Sua organização possui parceria com empresas do segmento para troca de conhecimento técnico?

a - Não possui parcerias com outras empresas	
b - Possui parcerias informais com outras empresas.	
c - Possui parcerias formais com outras empresas para o desenvolvimento de produtos e serviços.	

33 – Sua organização faz uso de tecnologias e inovações indicadas por fornecedores?

a - Sim	
b - Não	

34 – Sua organização possui parceria com Universidades e/ou centros de Pesquisa para o desenvolvimento e/ou uso de inovações?

a - Não possui parcerias com universidades e centros de pesquisa	
b - Possui parcerias informais com universidades e centros de pesquisa.	
c - Possui parcerias formais com universidades e centros de pesquisa para o desenvolvimento de produtos e serviços.	

35 – Quais das ações de aprendizagem interna são realizadas pela sua empresa?

a - Treinamentos com técnicos do quadro interno	
b - Aprendizagem devido ao uso de tecnologias empregadas.	
c - Aprendizagem devido ao desenvolvimento de CT&I.	

36 – Quais das ações de aprendizagem externa são realizadas pela sua empresa?

a - Consultoria com especialistas.	
b - Participação em eventos técnicos.	
c - Participação em eventos científicos.	
d - Treinamentos com profissionais externos ou em instituições.	
e - Aprendizagem devido ao contato com novas tecnologias apresentadas por fornecedores.	
f - Aprendizagem vinda do feedback de clientes.	

APÊNDICE F

Perfil dos especialistas selecionados para entrevista

Identificação	Formação	Área de atuação	Experiência
ESP_01_FASE_I	Bacharelado em Engenharia Civil, Mestrado em Engenharia Civil e Doutorado em Engenharia de Produção.	Construção civil; sustentabilidade; planejamento; projeto e controle de produção; controle de qualidade e ensino da engenharia de produção.	Docência; empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa; consultoria; avaliação de periódicos.
ESP_02_FASE_I	Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil.	Arquitetura; construção civil; habitação de interesse social; avaliação da qualidade de empreendimentos; gestão da produção.	Docência; empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa; consultoria.
ESP_03_FASE_I	Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil.	Arquitetura; construção civil; gerenciamento e modelagem de requisitos do cliente; uso de tecnologias BIM (<i>Building Information Modeling</i>); processo de desenvolvimento do produto; habitacionais de interesse social.	Docência; empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa.
ESP_04_FASE_I	Bacharelado em Engenharia Civil, Mestrado em Engenharia de Produção e Doutorado em Engenharia Civil	Construção civil; gestão da produção; gestão da qualidade; processo de desenvolvimento do produto; controle e custo de produção; tecnologia BIM (<i>Building Information Modeling</i>)	Docência; empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa; consultoria.
ESP_05_FASE_I	Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado em Engenharia Civil e Doutorado em Arquitetura e Urbanismo.	Construção civil; tecnologia BIM (<i>Building Information Modeling</i>); Gestão da Produção; sustentabilidade na construção.	Docência; empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa.

ESP_06_FASE_I	Bacharelado em Engenharia Civil, Mestrado e Doutorado em Engenharia da Produção.	Construção civil; gestão e controle da produção; desenvolvimento de produto; planejamento; sustentabilidade; tecnologias inovadoras para construção de edificações.	Docência; empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa; consultoria.
ESP_01_FASE_II	Bacharelado em Engenharia Civil, Mestrado em Engenharia Civil e Doutorando em Engenharia Civil.	Elaboração e gerenciamento de projetos de construção civil; modelagem e simulação de sistemas de produção.	Docência; empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa.
ESP_02_FASE_II	Bacharelado em Engenharia Civil, Mestrado e Doutorado em Construção Civil.	Planejamento e Orçamento de Obras; controle de obras; processos construtivos; materiais e componentes de construção.	Docência; empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa; consultoria.
ESP_03_FASE_II	Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil.	Construção civil; planejamento e gestão de obras; desempenho e eficiência Energética de edificações; projeto de edificações; sustentabilidade.	Empresas privadas; Pesquisa; consultoria.
ESP_04_FASE_II	Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado em Engenharia da Produção, Doutorando em Engenharia de Produção.	Desenvolvimento de projetos de Arquitetura de edificações; construção civil; planejamento e controle de obras; segurança do trabalho.	Docência; Empresas privadas; Pesquisa; orientação de pesquisa; consultoria.
ESP_05_FASE_II	Bacharelado em Engenharia Civil, Especialização em Gerenciamento de Obras e Mestrado em Engenharia de Produção.	Construção civil; planejamento e controle de obras; racionalização e desempenho da construção; gestão da produção.	Empresas privadas; Pesquisa; consultoria