

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**Eduardo Fonseca Ribeiro**

**Framework de seleção de alternativas para construção civil: estudo de caso  
sobre revestimento de áreas expostas à água**

Juiz de Fora

2025

**Eduardo Fonseca Ribeiro**

***Framework de seleção de alternativas para construção civil: estudo de caso***  
sobre revestimento de áreas expostas à água

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Estruturas e Materiais.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Júlia Castro Mendes

Juiz de Fora

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ribeiro, Eduardo Fonseca.

Framework de seleção de alternativas para construção civil : estudo de caso sobre revestimentos de áreas expostas à água / Eduardo Fonseca Ribeiro. -- 2025.

154 f. : il.

Orientadora: Julia Castro Mendes

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2025.

1. Revestimento para áreas expostas à água. 2. Revestimento cerâmico. 3. Framework de alternativas. 4. Diagnóstico de processos. 5. Tomada de decisão multicritério. I. Mendes, Julia Castro, orient. II. Título.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL****Eduardo Fonseca Ribeiro****Título: "FRAMEWORK DE SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO SOBRE REVESTIMENTO DE ÁREAS EXPOSTAS A ÁGUA"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Estruturas e Materiais.

Aprovada em 07/03/2025

## BANCA EXAMINADORA

**Profª. Dra. Julia Castro Mendes** - Orientadora e Presidente da Banca  
Universidade Federal de Juiz de Fora

**Prof. Dr. Ângelo Just da Costa e Silva**- Membro titular externo  
Universidade Federal de Pernambuco

**Prof. Dr. Pedro Kopschitz Xavier Bastos** - Membro titular interno  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Juiz de Fora, 10/03/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Kopschitz Xavier Bastos, Professor(a)**, em 10/03/2025, às 18:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Júlia Castro Mendes, Professor(a)**, em 11/03/2025, às 07:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Angelo Just da Costa e Silva, Usuário Externo**, em 14/03/2025, às 11:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2284285** e o código CRC **CF6A7991**.

Dedico esse trabalho à minha família e aos meus amigos.

Essas pessoas merecem todos os louros.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Vida por permitir concluir mais uma etapa Dela.

Agradeço aos meus pais por me darem a vida e por sempre me apoiarem em minhas decisões. Em especial à minha mãe que sempre esteve comigo e nunca mediu esforços para que eu fosse o homem que sou hoje.

Agradeço à FAPEMIG que inicialmente deu suporte financeiro ao meu mestrado e ao CNPq que foi o responsável pela parceria através do programa MAI e pelo fomento de toda pesquisa e bolsas.

Agradeço à minha querida orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Júlia Castro Mendes pela oportunidade de participar desse projeto que tanto tenho carinho. Agradeço pelo apoio contínuo, pelas dicas e, principalmente, pela amizade que construímos.

Agradeço à construtora MRV Engenharia S/A pela parceria na pesquisa e por todo apoio prestado com projetos, visitas às obras e documentações importantes. Em especial, agradeço ao Eng. Me. Hugo Albuquerque e todo o Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento pelo acompanhamento desde o primeiro dia.

Agradeço à banca examinadora composta pelos Professores Dr. Pedro Kopschitz Xavier Bastos e Dr. Angelo Just da Costa e Silva.

Agradeço aos alunos de Iniciação Científica, Helena Cruz Souza e Thiago Vieira Silveira, que não mediram esforços para me auxiliar na pesquisa. Sem eles seria muito mais difícil, portanto, merecem os louros juntamente a mim e à Professora Júlia.

Agradeço aos meus colegas de turma que estiveram juntos comigo em cada etapa e me apoiaram técnica e emocionalmente. Igualmente aos meus colegas do grupo de pesquisa de orientandos da Professora Júlia.

Agradeço aos profissionais de Psicologia, Educação Física e Nutrição pelo acompanhamento pautado em suas respectivas atribuições. O privilégio de poder contar com eles foi primordial para finalizar o projeto com saúde emocional e física.

Agradeço a todos os amigos e familiares que me incentivaram a continuar e me escutaram quando precisei.

“Toda as decisões têm riscos. Mas não tomar uma decisão é o maior risco de todos.”

(Autor desconhecido)

## RESUMO

O revestimento de pisos e paredes com placas cerâmicas, praticamente universal no contexto brasileiro, é um sistema praticamente artesanal, que contém muitos elementos/etapas, com intenso consumo de recursos, baixa produtividade e alta geração de resíduos. Nesse cenário, a substituição das placas cerâmicas por sistemas de revestimento mais racionalizados é uma possibilidade de mitigar tais reveses, mantendo ou melhorando o desempenho do sistema de revestimento. Sendo assim, o objetivo da pesquisa é desenvolver e avaliar um framework para soluções de substituição das placas cerâmicas no revestimento de áreas expostas à água, mapeando a atividade de forma rigorosa, entendendo como o sistema é feito atualmente, levantando alternativas para revestimentos de áreas molháveis, ranqueando as alternativas e detalhando a melhor solução para possível implementação. O diagnóstico foi feito por meio do Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV), do Diagrama de Ishikawa e da Matriz SWOT em um estudo de caso em um empreendimento “Minha Casa, Minha Vida” da construtora parceira deste projeto. A metodologia de seleção de alternativas aplicada é o método de análise de tomadas de decisão multicritério Fuzzy-TOPSIS que consiste na ordenação lógica de alternativas através das proximidades com soluções ideais. Como resultados, o diagnóstico indicou que os principais gargalos estão atrelados ao assentamento e ao rejuntamento das peças cerâmicas, além dos riscos atrelados ao sistema e da análise de suas principais características. A partir daí, oito categorias de sistemas alternativos foram levantadas e ranqueadas na tomada de decisão multicritério Fuzzy-TOPSIS. O sistema escolhido foi o dos monolíticos (ex. resinas epóxi) que foi detalhado qualitativa e quantitativamente. Por fim, também se levantou formas de otimizar o sistema de revestimentos cerâmicos e estudou-se o impacto que essas mudanças ocasionariam no cenário atual da construção civil.

Palavras-chaves: Revestimento para áreas expostas à água, Revestimento cerâmico, Framework de alternativas, Diagnóstico de processos, Tomada de decisão multicritério.

## **ABSTRACT**

Floor and wall covering with ceramic tiles, which is practically universal in the Brazilian context, is a practically artisanal system that contains many elements/steps, with intense resource consumption, low productivity and high waste generation. In this scenario, replacing ceramic tiles with more rationalized covering systems is a possibility to mitigate such setbacks, maintaining or improving the performance of the covering system. Therefore, the objective of the research is to develop and evaluate a framework for solutions to replace ceramic tiles in the covering of areas exposed to water, mapping the activity rigorously, understanding how the system is currently done, raising alternatives for covering wet areas, ranking alternatives and detailing the best solution for possible implementation. The diagnosis was made through Value Stream Mapping (VSM), the Ishikawa Diagram and the SWOT Matrix in a case study in a “Minha Casa, Minha Vida” project of the construction company partnering with this project. The alternative selection methodology applied is the Fuzzy-TOPSIS multicriteria decision-making analysis method, which consists of logically ordering alternatives based on their proximity to ideal solutions. As a result, the diagnosis indicated that the main bottlenecks are linked to the laying and grouting of ceramic tiles, in addition to the risks associated with the system and the analysis of its main characteristics. From there, eight categories of alternative systems were raised and ranked in the Fuzzy-TOPSIS multicriteria decision-making. The chosen system was the monolithic system (e.g. epoxy resins), which was detailed qualitatively and quantitatively. Finally, ways to optimize the ceramic cladding system were also raised and the impact that these changes would have on the current scenario of civil construction was studied.

Keywords: Cladding for areas exposed to water, Ceramic cladding, Framework of alternatives, Process diagnosis, Multicriteria decision-making.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases do processo produtivo dos revestimentos cerâmicos.....	25
Figura 2 - Simbologia adotada no MFV.....	32
Figura 3 - MFV do estado atual do processo de revestimento cerâmico de um pavimento de um empreendimento residencial .....	33
Figura 4 - MFV do estado atual de revestimento cerâmico de fachada .....	34
Figura 5 - MFV do estado futuro de revestimento cerâmico de fachada.....	34
Figura 6 - Diagrama de Ishikawa.....	36
Figura 7 - Diagrama de Ishikawa na análise de descolamentos cerâmicos .....	37
Figura 8 - Diagrama de Ishikawa do processo de revestimento cerâmico .....	38
Figura 9 - Matriz SWOT do processo de planejamento de um empreendimento	39
Figura 10 - Matriz SWOT da execução de obras de uma empresa.....	40
Figura 11 - (a) Definição das soluções ideais positiva (A+) e negativa (A-) em um espaço bidimensional referente aos desempenhos de quatro alternativas possíveis (A1, A2, A3 e A4) nos critérios supostos C1 e C2; (b) Distância euclidiana entre a alternativa A4 e às soluções ideais.....	44
Figura 12 - Etapas do método TOPSIS.....	45
Figura 13 - Número <i>fuzzy</i> triangular .....	49
Figura 14 - Funções de pertinência dos concretos em cada classificação.....	50
Figura 15 - Funções de pertinência (a) dos critérios e (b) das alternativas.....	53
Figura 16 - Visão geral do projeto .....	64
Figura 17 - <i>Layout</i> utilizado como base do estudo – áreas expostas à água hachuradas (escala 1:85).....	65
Figura 18 - (a) Cozinha e (b) banheiro padrões com revestimentos cerâmicos..	67
Figura 19 - Etapas da elaboração do mapa de fluxo de valor do estado atual ...	68
Figura 20 - Etapas da tomada de decisão .....	72

Figura 21 - Etapas do processo de revestimentos de paredes.....	77
Figura 22 - Etapas do processo de revestimentos de pisos .....	77
Figura 23 - (a) Pacote de argamassa colante, (b) misturador elétrico e (c) argamassa preparada .....	78
Figura 24 - (a) Pacote de placa cerâmica, (b) máquina de corte e (c) assentamento de peça na parede com vibrador .....	79
Figura 25 - (a) Niveladores tipo "cunha" nos pisos e (b) espaçadores tipo "cruzeta" nas paredes.....	79
Figura 26 - (a) Pacote de rejunte flexível, (b) rejuntamento de placa cerâmica e (c) junta elástica após o serviço .....	80
Figura 27 - MFV do processo de revestimento de paredes .....	84
Figura 28 - MFV do processo de revestimento de pisos.....	84
Figura 29 - Diagrama de Ishikawa para revestimentos cerâmicos .....	90
Figura 30 - Matriz SWOT para revestimentos cerâmicos .....	92
Figura 31 - (a) Componentes do porcelanato líquido e (b) exemplo de aplicação .....	94
Figura 32 - Etapas de aplicação do revestimento monolítico .....	94
Figura 33 - Piso box.....	96
Figura 34 - Etapas de instalação do piso box no chão .....	96
Figura 35 - Etapas de instalação do piso box na parede.....	97
Figura 36 - Parede revestida com <i>kit</i> de placa revestida e piso box .....	97
Figura 37 - Etapas de instalação do <i>kit</i> de parede.....	98
Figura 38 - Banheiro modular .....	99
Figura 39 - Transporte horizontal e vertical dos <i>pods</i> até o local de instalação ..	99
Figura 40 - Aplicação de revestimento com colagem por fita dupla face .....	101
Figura 41 - Aplicação de revestimento com colagem por cola especial .....	102

Figura 42 - Aplicação de revestimento com colagem por adesivo autocolante.....	103
Figura 43 - Lâminas do revestimento do tipo encaixe.....	104
Figura 44 - Aplicação de revestimento do tipo encaixe no chão.....	105
Figura 45 - Aplicação de revestimento do tipo encaixe na parede .....	105
Figura 46 - Aplicação de revestimento do tipo encaixe e colagem.....	106
Figura 47 - Aplicação de revestimentos magnéticos.....	107
Figura 48 - Etapas do processo de revestimento com resina epóxi .....	121
Figura 49 - Diagrama de Ishikawa para revestimentos com resina epóxi .....	123
Figura 50 - Matriz SWOT para revestimentos epóxi .....	124
Figura 51 - (a) Cortador profissional de base reforçada, (b) desempenadeira dentada angular e (c) movimentador e assentador com vibração .....	127
Figura 52 - Paginações atuais (cozinha à esquerda e banheiro à direita).....	128
Figura 53 - Paginações da proposta de melhoria 1: mudança no tamanho das peças .....	129
Figura 54 - Paginações da proposta de melhoria 2: mudança no tamanho dos cômodos .....	130
Figura 55 - Esquema da paginação da cozinha.....	131
Figura 56 - Esquema da paginação do banheiro .....	132

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Palavras-chave adotadas nas pesquisas realizadas .....	22
Tabela 2 - Problemas e métodos de análise de decisão multicritério.....	41
Tabela 3 - Tradução dos termos linguísticos para os valores numéricos relativos à classificação dos concretos quanto à massa específica .....	50
Tabela 4 - Tradução dos termos linguísticos para os valores numéricos em relação (a) aos critérios e (b) às alternativas.....	52
Tabela 5 - Exemplo (a) de julgamento dos critérios e (b) de tradução para os vetores de pesos .....	53
Tabela 6 - Exemplo (a) de julgamento das soluções e (b) de tradução para a matriz de decisão .....	54
Tabela 7 - Exemplo de vetores normalizados de pesos .....	55
Tabela 8 - Exemplo de matriz normalizada de decisão .....	55
Tabela 9 - Exemplo de matriz normalizada e ponderada de decisão.....	56
Tabela 10 - Exemplo de soluções ideais positiva e negativa.....	57
Tabela 11 - Exemplo de distâncias relativas a cada critério para a solução ideal (a) positiva e (b) negativa.....	58
Tabela 12 - Exemplo de distância total para as soluções ideais .....	58
Tabela 13 - Exemplo de coeficientes de aproximação para a solução ideal positiva e ranqueamento final.....	59
Tabela 14 - $T/C$ (min/m <sup>2</sup> ) das etapas do processo de revestimento de paredes	81
Tabela 15 - $T/C$ (min/m <sup>2</sup> ) das etapas do processo de revestimento de pisos.....	81
Tabela 16 - Área levantada de revestimento cerâmico no <i>layout</i> estudado .....	82
Tabela 17 - Tempo de execução do revestimento cerâmico no <i>layout</i> estudado	82
Tabela 18 - Tempo total dos serviços de parede no <i>layout</i> estudado .....	82
Tabela 19 - Tempo total dos serviços de piso no <i>layout</i> estudado.....	83

Tabela 20 - Insumos totais por serviço e ambiente do <i>layout</i> estudado.....	83
Tabela 21 - Resumo das alternativas levantadas .....	109
Tabela 22 - Vetores de pesos traduzidos relativos a cada setor .....	114
Tabela 23 - Ordenação da importância dos critérios por setor .....	115
Tabela 24 - Vetores iniciais de pesos.....	115
Tabela 25 - Matriz inicial de decisão .....	116
Tabela 26 - Vetores normalizados de pesos dos critérios .....	117
Tabela 27 - Matriz normalizada e ponderada de decisão .....	117
Tabela 28 - Soluções ideais positiva e negativa .....	118
Tabela 29 - Distâncias relativas a cada critério e distância total para a solução ideal positiva.....	118
Tabela 30 - Distâncias relativas a cada critério e distância total para a solução ideal negativa .....	119
Tabela 31 - Coeficientes de aproximação e ranqueamento final das alternativas .....	119
Tabela 32 - Produção estimada da mão de obra do sistema de resina epóxi...	122
Tabela 33 - Comparação quantitativa entre as propostas na cozinha.....	132
Tabela 34 - Comparação quantitativa entre as propostas no banheiro .....	133
Tabela 35 - Matriz de decisão traduzida relativa ao setor de Produtos.....	150
Tabela 36 - Matriz de decisão traduzida relativa ao setor de Suprimentos .....	151
Tabela 37 - Matriz de decisão traduzida relativa ao setor de Orçamento .....	151
Tabela 38 - Matriz normalizada de decisão .....	152

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres

ANP – *Analytic Network Process*

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CRITT – Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia

DEA – *Data Envelopment Analysis*

ELECTRE – *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*

GP – *Goal Programming*

ICT – Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação

MACBETH – *Measuring Attractiveness through a Categorical-Based Evaluation Technique*

MAI – Mestrado Acadêmico para Inovação

MAUT – *Multiattribute Utility Theory*

MCDA – *Multi-Criteria Decision Analysis*

MFV – Mapa de Fluxo de Valor

PROMETHEE – *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*

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

SWOT – *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*

TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos

TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	17
1.2	OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
2.1	REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	23
2.1.1	<b>Histórico das cerâmicas</b> .....	23
2.1.2	<b>Mercado brasileiro de revestimentos cerâmicos</b> .....	24
2.1.3	<b>Desafios do sistema de revestimentos cerâmicos</b> .....	28
2.2	DETALHAMENTO DE PROCESSOS PRODUTIVOS .....	30
2.2.1	<b>Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV)</b> .....	31
2.2.2	<b>Diagrama de Ishikawa (ou Diagrama de Causa e Efeito)</b> .....	35
2.2.3	<b>Matriz SWOT</b> .....	38
2.3	ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	40
2.3.1	<b>TOPSIS</b> .....	43
2.3.2	<b>Lógica <i>fuzzy</i> (números nebulosos ou difusos)</b> .....	48
2.3.3	<b><i>Fuzzy</i>-TOPSIS</b> .....	51
2.3.4	<b>Estado da arte</b> .....	59
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	63
3.1	VISÃO GERAL DO PROJETO.....	63
3.2	REALIZAÇÃO DE VISITAS TÉCNICAS .....	64
3.3	DETALHAMENTO DO PROCESSO ATUAL .....	67
3.3.1	<b>Elaboração do MFV do estado atual</b> .....	67
3.3.2	<b>Elaboração do Diagrama de Ishikawa</b> .....	69

<b>3.3.3</b>	<b>Elaboração da Matriz SWOT</b> .....	69
3.4	LEVANTAMENTO DE ALTERNATIVAS .....	70
3.5	TOMADAS DE DECISÃO.....	71
<b>3.5.1</b>	<b>Brainstorming de critérios</b> .....	72
<b>3.5.2</b>	<b>Julgamento de critérios e alternativas</b> .....	72
<b>3.5.3</b>	<b>Ranqueamento final</b> .....	73
3.6	ANÁLISE DA SOLUÇÃO FINAL .....	73
3.7	OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO TRADICIONAL.....	74
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	76
4.1	RELATÓRIO DAS VISITAS TÉCNICAS .....	76
4.2	DIAGNÓSTICO DO PROCESSO ATUAL.....	80
<b>4.2.1</b>	<b>MFV do sistema de revestimento cerâmico</b> .....	80
<b>4.2.2</b>	<b>Gargalos, limitações e desafios do sistema de revestimento cerâmico</b> .....	85
<b>4.2.3</b>	<b>Diagrama de Ishikawa do sistema de revestimento cerâmico</b> ...	89
<b>4.2.4</b>	<b>Matriz SWOT do sistema de revestimento cerâmico</b> .....	91
4.3	ALTERNATIVAS LEVANTADAS.....	93
<b>4.3.1</b>	<b>Revestimentos monolíticos</b> .....	93
<b>4.3.2</b>	<b>Revestimentos pré-fabricados</b> .....	95
<b>4.3.3</b>	<b>Soluções modulares</b> .....	98
<b>4.3.4</b>	<b>Revestimentos de colagem</b> .....	100
<b>4.3.5</b>	<b>Revestimentos de encaixe</b> .....	103
<b>4.3.6</b>	<b>Revestimentos de encaixe e colagem</b> .....	106
<b>4.3.7</b>	<b>Revestimentos magnéticos</b> .....	107
<b>4.3.8</b>	<b>Resumo das alternativas levantadas</b> .....	108

4.4	ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DO <i>FUZZY-TOPSIS</i>	112
4.4.1	Rodada-teste	112
4.4.2	Tomada de decisão final	113
4.5	ANÁLISE DA ALTERNATIVA ESCOLHIDA	120
4.5.1	Processo de revestimento com resina epóxi	120
4.5.2	Diagrama de Ishikawa do sistema de resina epóxi	122
4.5.3	Matriz SWOT do sistema de resina epóxi	124
4.6	FORMAS DE OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO TRADICIONAL	125
4.6.1	Mão de obra	126
4.6.2	Ferramentas	126
4.6.3	Coordenação modular	127
5	CONCLUSÕES	135
	REFERÊNCIAS	139
	Apêndice A – Matrizes de decisão traduzidas relativas a cada setor da empresa parceira	150
	Apêndice B – Matriz normalizada de decisão	152

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O panorama anual de 2023 da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER) identifica o Brasil como um dos protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos (ANFACER, 2023b). O setor possui a terceira maior produção e o terceiro maior consumo do mundo, além de ser o sexto maior exportador global (ANFACER, 2023b). As placas cerâmicas são vantajosas não só devido ao acabamento duradouro proporcionado, mas também na proteção da estrutura e na prevenção contra infiltrações (Silva *et al.*, 2015).

Como resultado, o sistema de revestimentos cerâmicos é utilizado na maioria das edificações brasileiras, seja em todos os ambientes, seja ao menos nas áreas expostas à água (ANFACER, 2023b). De acordo com a ABNT NBR 15575 (2021a), tais áreas podem ser classificadas em: molhadas, cuja exposição a água pode resultar na formação de lâmina d'água pelo uso normal a que o ambiente se destina classifica (ex. banheiro com chuveiro, área de serviço e áreas descobertas); ou molháveis, as quais recebem respingos de água decorrentes da sua condição de uso e exposição (ex. banheiro sem chuveiro, lavabo, cozinha e sacada coberta).

O apego cultural a esse sistema remonta à colonização, com a chegada dos azulejos portugueses que foram imediatamente incorporados à arquitetura brasileira (ANFACER, 2023b). Outros fatores que influenciam tal tradicionalismo nos dias de hoje são a grande variedade de opções de peças (Valadão, 2021), preços relativamente acessíveis (Teixeira, 2022) e a cultura brasileira de limpeza com água em abundância e produtos químicos (Martins, 2022).

Em contrapartida, até os dias de hoje a execução do sistema é complexa e artesanal, com baixa produtividade e alta geração de resíduos (Fulford e Standing, 2014). Um sistema de revestimento cerâmico convencional abrange a preparação da superfície, a mistura da argamassa, o assentamento e a obtenção de planicidade/nivelamento do conjunto de peças, a criação e limpeza das juntas de assentamento, a preparação do rejunte e o rejuntamento, a limpeza do rejunte, a instalação de

elementos acessórios, como juntas de movimentação e cantoneiras, e, por fim, a conferência da conformidade desses serviços com os processos operacionais da empresa e as normas que regulamentam sua execução (ABNT, 1996a; ABNT, 1996b). A ABNT ainda recomenda tempos de espera ou cura relacionados ao sistema, como a validade da aplicação da argamassa/tempo em aberto (2,5 horas); cura da argamassa (28 dias); espera do início do serviço de rejuntamento após o assentamento (3 dias); secagem do rejuntamento (15 a 30 minutos); espera antes do tráfego de pessoas (7 dias); e espera para a limpeza final das peças (14 dias) (ABNT, 1996a; ABNT, 1996b). Esses períodos ociosos não agregam valor ao produto e diminuem a produtividade do serviço.

Ampliam-se ainda mais os desafios quando se trata de edificações construídas com paredes de concreto. As paredes de concreto são elementos estruturais autoportantes moldados *in loco* que possuem o comprimento maior que cinco vezes a espessura e são capazes de suportar cargas no mesmo plano da parede (ABNT, 2022). O sistema estrutural é reconhecido pela alta produtividade, dada a fusão das etapas de superestrutura e vedação (Nakamura, 2019). Na maioria dos casos, um pavimento inteiro é finalizado em ciclos de um ou dois dias. Logo, em sistemas racionalizados como esse, as questões da baixa produtividade do serviço de revestimento e dos elevados tempos de espera ficam ainda mais críticas.

Mesmo tendo perdido espaço para sistemas mais racionalizados nas áreas secas, como os sistemas vinílico e laminado, o revestimento cerâmico ainda não encontrou substituto na prática corrente em áreas expostas à água no Brasil. Essa perspectiva serve de motivação para se analisar mais profundamente o atual processo de execução de revestimentos de banheiros e cozinhas. Justifica-se, ainda, a otimização do processo executivo por meio da exploração novos sistemas de revestimento, os quais possibilitariam a mitigação de reveses inerentes ao método tradicional, mantendo ou melhorando seu desempenho.

O mercado mundial já traz algumas alternativas interessantes, como materiais de bases poliméricas, metálicas, cimentícias ou híbridas, com suas variáveis técnicas de produção e instalação. Entre os modos de instalação, pode-se citar revestimentos monolíticos (como o epóxi líquido), os revestimentos de colagem (como placas

vinílicas) e os revestimentos de encaixe (como painéis poliméricos). Entretanto, cada uma dessas soluções possui diferentes propriedades técnicas, durabilidade, custos, impactos ambientais, níveis de adaptabilidade aos consumidores brasileiros, entre outras características, o que dificulta a sua seleção e efetiva adoção.

Nesse sentido, o presente trabalho objetiva desenvolver uma estrutura de seleção e avaliação de alternativas para revestimentos de áreas expostas à água. O modelo deverá ser capaz de facilitar a tomada de decisão final e orientar sua implementação, considerando critérios importantes os(as) tomadores(as) de decisão. Para que as alternativas sejam avaliadas com adequada objetividade e transparência, é necessário o diagnóstico do atual estado da tecnologia e o desenvolvimento de um método de avaliação (*framework*) para a tomada de decisão dentro de critérios relevantes, como o desempenho técnico, os impactos econômicos, ambientais e sociais, a compatibilidade com o sistema estrutural e a adequabilidade ao setor.

Uma ferramenta muito utilizada para se diagnosticar uma atividade ou serviço quantitativamente é o Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV), introduzida por Rother e Shook (2003). O mapeamento considera o serviço a partir de sua concepção até sua execução, o que possibilita a identificação de gargalos, a adição de valor e a eliminação de desperdícios em todas as etapas (Rother e Shook, 2003). Como parte do detalhamento do processo, costuma-se calcular sua produção e sua produtividade. Mattos (2019) define a produção como a quantidade de serviço feita em um período; já a produtividade como a rapidez que essa produção foi atingida, ou seja, a taxa de produção de uma pessoa (ou de uma equipe de pessoas) e/ou de um equipamento.

Métodos qualitativos também podem ser usados para analisar as atividades mais profundamente. Para isso, utiliza-se métodos como o Diagrama de Ishikawa e a Matriz SWOT (dos termo em inglês: *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*; traduzidos para: Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças): modelos para análise de riscos a fim de compreender as causas e avaliar os ambientes em que o processo está inserido. Sendo assim, a descrição do estado atual do processo servirá para embasamento da tomada de decisão para sua melhoria ou substituição.

Após o diagnóstico, o próximo desafio é o processo de seleção de alternativas, visto que é comumente feito de maneira subjetiva e, muitas das vezes, intuitiva. Para

Taherdoost e Madanchian (2023), tal processo mental é complexo e busca resolver problemas visando um resultado desejável considerando diferentes aspectos. Os métodos de seleção de alternativas sempre serão baseados em critérios, sendo esses qualitativos e quantitativos. Cavagnaro e Curiel (2023) recomendam que os critérios devem abordar as três dimensões do desenvolvimento sustentável: crescimento econômico responsável, progresso social equitativo e proteção ambiental eficaz. Sendo assim, é importante ter formas sistemáticas de se realizar essas decisões.

Na literatura, quando se trata de materiais alternativos dentro da construção civil e da forma em que a seleção é realizada, converge-se para temas voltados para a sustentabilidade e a inovação. As tomadas de decisão de Nadoushani *et al.* (2017) basearam-se na resolução de problemas relativos a fachadas de edifícios; Reddy, Kumar e Raj (2019) elaboraram um índice de desempenho considerando as três fases do ciclo de vida de materiais estruturais; Shahpari *et al.* (2019) selecionaram o sistema de construção pré-fabricado mais adequado a níveis de produtividade; Figueiredo *et al.* (2021) focaram na otimização da escolha de materiais com apoio no *Building Information Modeling* (BIM); Alwafi (2022) voltou-se para a escolha de materiais de construção mais sustentáveis; e Alkasar e Yahya (2023) consideraram a função das edificações nos contextos modernos. Todos esses trabalhos alcançaram seus respectivos objetivos, iniciando pelo mapeamento e levantamento de soluções e realizando seu posterior ranqueamento. Esse sucesso aponta o uso vantajoso de métodos de análise multicritério para tomadas de decisão. Entretanto, não existem estudos voltados para a substituição de revestimentos cerâmicos em áreas molhadas e molháveis de edificações, tampouco detalhes sobre possíveis substitutos e estruturas de seleção dentre as opções existentes.

## 1.2 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente trabalho objetiva desenvolver e validar um *framework* para soluções mais eficientes de materiais e/ou sistemas de construção aplicando-o a um estudo de caso para substituição das placas cerâmicas no revestimento de áreas expostas à água em edificações. Isso será feito por meio de um estudo de caso com uma empresa parceira, para o sistema de paredes de concreto moldadas *in loco*.

Sob perspectiva mais específica, destaca-se:

- Descrever como o sistema de revestimento cerâmico está presente na construção civil hoje e mapear a atividade em seu estado atual;
- Levantar as possíveis alternativas para revestimento de áreas molhadas e molháveis;
- Ranquear as soluções com base em critérios econômicos, ambientais e sociais, conforme interesses dos(as) tomadores(as) de decisão da construtora parceira;
- Investigar os potenciais benefícios da melhor alternativa selecionada em relação ao sistema atual de revestimentos cerâmicos; analisando os impactos para a construtora parceira.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão de literatura foi realizada através de pesquisa bibliográfica de maneira que todos os temas abordados na pesquisa fossem conceituados, a fim de nivelar o conhecimento dos(as) leitores(as). As pesquisas foram feitas na plataforma da CAPES e do Google Acadêmico, com palavras-chave em inglês alternadas com o auxílio dos indicadores *booleanos* “AND” (“E”), “OR” (“OU”) e “NOT” (“NÃO”). As produções foram limitadas temporalmente entre os anos 2013 e 2024 (buscando referências mais atuais, da última década). Algumas referências de trabalhos coletados que não pertencem ao recorte de tempo proposto foram consideradas dada a relevância que ainda possuem. Livros e relatórios técnicos de entidades públicas e privadas também foram utilizados. A Tabela 1 indica as palavras-chave nas rodadas de busca, que foi realizada entre fevereiro e julho de 2024.

**Tabela 1 - Palavras-chave adotadas nas pesquisas realizadas**

<b>Etapa</b>	<b>Palavras-chave</b>
Pesquisa diretiva	<i>“Alternative materials”, “framework”</i>
Pesquisa secundária	<i>“Alternative materials”, “framework”, “selection”, “building materials”, “decision making”</i>
Pesquisa principal	(i) "Histórico", "cerâmica", "placas cerâmicas", "Brasil"; (ii) <i>"process mapping" "optimization" "operational efficiency" "waste elimination", "value stream mapping"</i> ; (iii) "VSM", "building", "construction", "ceramic"; (iv) <i>"decision making", "MCDA", "ranking"</i> ; (v) "TOPSIS", "fuzzy", "fuzzy-TOPSIS"; (vi) <i>"fuzzy-TOPSIS", "building", "construction", "ceramic"</i> .

**Fonte: Autor (2024)**

O primeiro filtro aplicado foi no título dos trabalhos. Avaliou-se a similaridade ao tema, o objetivo e a possibilidade de conter informações que ajudariam na contextualização. A coleta finalizou quando os títulos não atendiam mais aos critérios de seleção. O segundo filtro foi relativo ao resumo dos artigos, tendo como critério possuir informações relevantes e as interseções com o presente trabalho quanto a objetivos e metodologias adotados. A pesquisa secundária surgiu dos textos

trabalhados da pesquisa diretiva. Os mesmos filtros foram aplicados aos títulos e resumos.

Já a pesquisa principal iniciou-se quando todos os conceitos abordados na revisão bibliográfica foram definidos. As pesquisas foram feitas da mesma forma que as demais, com foco em palavras-chave que atendessem os temas em questão e posterior leitura dos títulos e resumos. A estruturação do capítulo foi realizada a partir da contextualização do assunto e abordagem dos conceitos macro até os conceitos micro. Ao final da seção, o estado da arte no tema foi detalhado, discutindo os trabalhos recentes de pesquisadores(as) que atuam na mesma área de seleção de alternativas para a construção civil.

## 2.1 REVESTIMENTOS CERÂMICOS

### 2.1.1 Histórico das cerâmicas

De acordo com a *National Geographic Portugal* (2020), a origem da cerâmica não é conhecida precisamente, mas existem diversos fatos que contribuem para o entendimento de sua invenção. Segundo a revista, o gesso e a cal já eram utilizados para revestir e proteger as paredes das casas de adobe no período neolítico (anos 10000 a.C. a 3000 a.C.). Por sua vez, a cerâmica surgiu em uma necessidade primária de obter recipientes para cozer e/ou guardar alimentos (National Geographic, 2020).

No contexto brasileiro, Bylaardt *et al.* (2024) relatam estudos arqueológicos que indicam a presença de utensílios domésticos simples de cerâmica há cerca de cinco mil anos, próximo à Ilha de Marajó-PA. Segundo os autores, os indígenas aborígenes firmaram a cultura do trabalho em barro com a chegada dos portugueses, os quais instalaram as primeiras olarias, estruturando e concentrando a mão de obra. Com as técnicas implementadas, as peças de uso doméstico passaram a ser fabricadas com maior simetria, melhor acabamento e menos tempo de trabalho (Bylaardt *et al.*, 2024). Assim, a América Latina consolidou o uso de materiais cerâmicos com a colonização europeia.

Quanto à técnica construtiva que utiliza os blocos cerâmicos, volta-se aos antigos caldeus e assírios que já utilizavam esse material para erguer casas e palácios em

torno de 4000 a.C. (Napoli e Souza, 2015). Contudo, segundo Napoli e Souza (2015), a cerâmica como revestimento e arte com características industriais só ocorreu na formação dos centros comerciais da Antiguidade. As autoras afirmam, ainda, que foi após a Revolução Industrial que se iniciou a nova etapa de padronização e evolução tecnológica do material, a qual se estende até hoje. Para Bylaardt *et al.* (2024), a influência árabe sobre a Europa foi primordial, pois levaram novas técnicas e estilos, como a introdução dos arabescos e das formas geométricas.

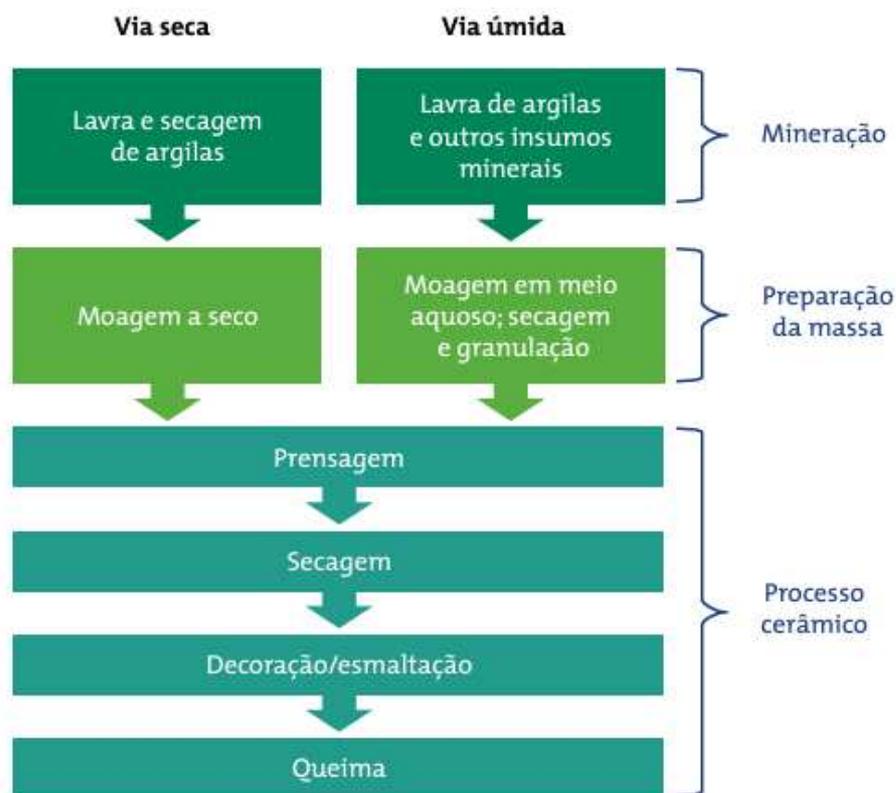
Os registros da ANFACER (2023a) confirmam que o gosto pela cerâmica como revestimento no Brasil iniciou com a vinda dos portugueses, os quais fundiram suas manifestações artísticas com as de origem muçulmana, assíria, persa e chinesa. Segundo a associação, foi a partir do século XVI que a produção do revestimento cerâmico se regularizou com o uso frequente em igrejas e palácios nobres. Mas apenas no século XVIII que a industrialização manufatureira é implantada no país com o intuito de aumentar a produção, simplificando os azulejos já existentes (ANFACER, 2023a). A partir disso, o custo do produto diminuiu, tornando-o mais acessível ao público, o que permitia a utilização em espaços intermediários e de domínio público (ANFACER, 2023a). O uso foi cada vez mais frequente quando, no Brasil independente, casas e sobrados já apresentavam o revestimento que se revelou excelente para o clima do país (ANFACER, 2023a). Mais recentemente, nos anos 2000 e 2010, o governo brasileiro estimulou a produtividade do setor, apoiando o esforço exportador e expandindo a capacidade produtiva para abastecimento interno, através de financiamentos do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) (BNDES, 2013). Pode-se dizer que hoje, as cerâmicas são os principais revestimentos de pisos e paredes internas das edificações, principalmente em banheiros, cozinhas e áreas de serviços domésticos.

### **2.1.2 Mercado brasileiro de revestimentos cerâmicos**

O setor de revestimentos cerâmicos é um ramo da indústria de minerais não metálicos que produz azulejos, pisos, porcelanatos, pastilhas etc. voltados para ambientes residenciais, institucionais, comerciais e industriais (BNDES, 2013). O processo produtivo básico do setor resume-se em três etapas: a mineração de

matérias-primas, a preparação da massa que constitui as placas e o processo cerâmico (BNDES, 2013). A produção brasileira possui dois processos distintos: a via seca e a via úmida, as quais se diferem nas duas primeiras etapas, conforme ilustrado pela Figura 1.

**Figura 1 - Fases do processo produtivo dos revestimentos cerâmicos**



Fonte: BNDES (2013)

De acordo com o Informe Setorial do BNDES (2013), as diferenças se resumem a:

- (i) variedade de materiais obtidos da natureza: a via seca utiliza apenas um ou dois tipos de argilas vermelhas e a via úmida emprega uma maior variedade de matérias-primas cuja mistura é de cor clara;
- (ii) preparação da massa: a via seca utiliza o processo de trituração em moinhos pendulares ou de martelo após secagem natural e a via úmida usa moinhos de bola nos quais as matérias-primas são misturadas, trituradas e homogeneizadas em meio aquoso; nesse processo, a mistura ainda é submetida a um procedimento de secagem e granulação chamado atomização. A via seca opera com

custos menores, porém possuem qualidade inferior de seus produtos que são apontados como mais susceptíveis a manifestações patológicas (BNDES, 2013). Entretanto, a existência dos dois processos no Brasil permite que a indústria nacional seja competitiva e diversificada, indo do popular ao sofisticado (BNDES, 2013).

A transformação da indústria brasileira de revestimentos é evidente. Nas últimas décadas, houve a conversão das plantas produtivas para o gás natural (BNDES, 2013), fazendo com que o setor se tornasse o segundo maior consumidor industrial dessa fonte de energia, além do décimo maior consumidor de energia elétrica (ANFACER, 2024). Vieira (2022) destacou as principais etapas que colaboram para o impacto ambiental da fabricação de revestimentos cerâmicos.

- Preparação da massa: impacto gerado pela extração de matéria-prima, maior responsável por impacto de potencial de depleção de recursos abióticos, destruição da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática de água salgada, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização;
- Queima de combustíveis fósseis: geração de grande quantidade de CO<sub>2</sub>, contribuindo com 70% do impacto de potencial de aquecimento global do sistema;
- Classificação e embalagem: produção de madeira para o papelão da embalagem, provenientes de árvores de eucalipto, as quais são cultivadas com uso de fertilizantes a base de ácido sulfúrico; logo, representam a maior contribuição para ecotoxicidade terrestre;
- Queima das peças: emissão de compostos voláteis a partir da transformação química ocorrida nas placas cerâmicas, impactando na ecotoxicidade aquática de água doce.

Segundo a ANFACER (2023a), a produção brasileira é concentrada no polo internacional de Criciúma-SC, região em que as empresas produzem com tecnologia via úmida e competem por design e marca, fato que acarreta faixas de preços mais altas. A associação também destaca os polos de Mogi Guaçu-SP que produzem pela via úmida e Santa Gertrudes-SP que utilizam a tecnologia de via seca. Além disso, existe um potencial polo no nordeste brasileiro devido às condições favoráveis de

matéria-prima e de energia, além da existência de um mercado consumidor em desenvolvimento e boa localização para exportação (ANFACER, 2023a).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regulamenta fases importantes da fabricação e uso de revestimentos cerâmicos para construção civil. O perfil profissional do assentador e do rejuntador de placas cerâmicas é regulamentada pela ABNT NBR 15825. Em relação aos componentes do sistema, as ABNT NBR 13816, 13817 e 13818 especificam as terminologias, especificações e métodos de ensaios dessas placas cerâmicas para revestimento e as ABNT NBR 14081, 14082, 14083, 14084, 14085 e 14086 fixam os requisitos e as determinações das propriedades das argamassas colantes industrializadas utilizadas no assentamento. Para a execução, fiscalização e recebimento de pisos cerâmicos, têm-se as ABNT NBR 9817 e 13753. Já os requisitos em relação a execução, fiscalização e recebimento de revestimentos para paredes internas são regidos pela ABNT NBR 13754.

Já a ABNT NBR 15575 (2024) estabelece requisitos e critérios de desempenho para edificações habitacionais. A terceira e a quarta partes dessa norma regulamenta os ensaios de verificação de propriedades de elementos e componentes de sistema de revestimentos de pisos e de vedações verticais, respectivamente, e define seus níveis mínimos de desempenho (ABNT, 2021a; ABNT, 2021b). As várias propriedades verificadas pela norma estão atreladas a: desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação, estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, durabilidade e manutenibilidade, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil, visual e antropodinâmico e adequação ambiental (ABNT, 2021a; ABNT, 2021b).

Segundo a ANFACER (2024), a produção brasileira de revestimentos ultrapassou 792 milhões de metros quadrados em 2023, sendo que 54,61% desse total refere-se a revestimentos de pisos e 19,86% a revestimentos de paredes. De acordo com o levantamento realizado pela *Ceramics of Brazil* (2023), tal feito foi realizado por 66 plantas de placas cerâmicas representadas pelas 137 marcas existentes, as quais possuem 50 mil empregados diretos e 200 mil indiretos. O setor cerâmico é responsável por 6% do PIB da indústria de material de construção (Ceramics of Brazil, 2023). O principal ponto de encontro dos profissionais da área na América Latina é a

tradicional feira Expo Revestir, que há mais de 20 anos reúne as principais marcas em São Paulo-SP, a fim de impulsionar a cadeia da construção civil em torno de suas tendências e inovações (Expo Revestir, 2024).

O tradicionalismo da cerâmica é influenciado pela variedade de cores, tamanhos, texturas e acabamentos, o que permite uma ampla gama de opções e a adequação aos diversos estilos de ambientes e decoração (Valadão, 2021). Silva *et.al.* (2015) destacam algumas propriedades das placas cerâmicas como porosidade e aderência, além de resistência a abrasão superficial, ataque químico e manchas. Assim, as superfícies que as contêm adquirem características como bom acabamento, melhor isolamento, proteção da estrutura, prevenção contra infiltrações e facilidade na higienização (Silva *et al.*, 2015).

Existem opções no mercado que se encaixam em diferentes orçamentos, tornando-os uma escolha acessível para diferentes portes de construção e reforma (Teixeira, 2022). Além disso, a limpeza de banheiros e cozinhas com muita água e produtos químicos tradicionalmente feita no Brasil reforça a preferência por revestimentos cerâmicos, que são resistentes à umidade e ao manchamento (Martins, 2022). Devido à durabilidade e impermeabilidade das peças, também é tradicionalmente adotado para proteção de outros sistemas, como nas fachadas de edificações (Esperante e Ferrari, 2019).

### **2.1.3 Desafios do sistema de revestimentos cerâmicos**

Apesar de grande produção e consumo e de tradição no uso da cerâmica, este é um sistema complexo e pouco racionalizado visto que nele existem muitas etapas, componentes e períodos obrigatórios de espera. Avelino *et al.* (2018) observaram cinco fatores que interferem na produtividade durante o serviço de revestimento cerâmico:

- Retrabalhos: correção de um erro do próprio operário ou de terceiros (responsáveis por etapas anteriores e/ou concomitantes);
- Pausas para replanejamento: ajustes inerentes às etapas anteriores e mudanças na paginação durante o assentamento;

- Participação de auxiliares das atividades: habilidades inferiores da mão de obra auxiliar e reorganização das tarefas devido à ausência de operários, o que demanda substituições de última hora;
- Excesso de cortes: quanto maior a frequência e a complexidade dos cortes, mais tempo é gasto, o qual depende da localização na peça e da habilidade do profissional em fazê-lo; nichos e pontos hidráulicos e elétricos demandam muitos ajustes e cortes;
- Deslocamentos devido à má distribuição dos materiais: necessidade de o operário trabalhar sozinho no ambiente de pequenas dimensões, obrigando-o a deslocar-se para alcançar materiais e realizar cortes em ambientes com melhor iluminação.

Tais gargalos de produção são causados por falta de direcionamento na atividade, o qual poderia ocorrer com a adequação dos projetos a fim de mitigar os problemas advindos desse processo (Avelino *et al.*, 2018). Além dos fatores observados no trabalho de Avelino *et al.* (2018), outros gargalos podem ser destacados conforme descritos a seguir.

- Condições climáticas e ambientais: umidade e temperatura podem interferir nas características de pega e retração das argamassas;
- Ferramentas e equipamentos inadequados: baixa qualidade das ferramentas afetam o ritmo e a qualidade de corte e de assentamento;
- Planejamento deficiente de suprimentos: planejamento inadequado das etapas anteriores ou atrasos nas entregas dos vários componentes do sistema causam interrupções;
- Rejeitos e sobras de material: desperdício inerente ao processo e quebra devido a transporte ou corte inadequados, o que por sua vez aumenta os esforços e custos de manejo dos resíduos;
- Atividades sem valor agregado: necessidade de mistura e cura das argamassas colantes e dos rejuntas; limpeza entre as diversas etapas;
- Questões de saúde e ergonomia: riscos de acidentes ou doenças do trabalho devido ao peso próprio das peças e a posição em que o operário realiza o serviço.

Os desafios ainda são ampliados no contexto de edificações construídas com paredes autoportantes de concreto. Embora o sistema construtivo ofereça diversas vantagens, como alta velocidade de execução da etapa conjunta de superestrutura e vedação (Nakamura, 2019), as fases de revestimento e acabamento são as que possuem menor produtividade. Por essa perspectiva, é necessário analisar como o atual processo de execução está sendo realizado e otimizá-lo por meio de alternativas que mantenham ou melhoram o desempenho do sistema. Para este fim, metodologias para diagnóstico e seleção de alternativas tornam-se importantes na busca de maior eficiência e menor desperdício.

## 2.2 DETALHAMENTO DE PROCESSOS PRODUTIVOS

O mapeamento dos processos produtivos iniciou-se com a padronização do trabalho e o estudo dos tempos de execução presentes no Taylorismo (Lee e Snyder, 2006). Tempos depois, a produção da Toyota adotou o termo Lean (Enxuto) para refletir sobre a natureza de redução de desperdícios e diferenciar-se das formas artesanais e em massa de produção (Womack, Jones e Roos, 2007). Taherdoost e Madanchian (2023) afirmam que não existe decisão a ser tomada em um processo sem a referência de seu estado atual. A tomada de decisão é facilitada ao conhecer os desperdícios do processo uma vez que os gargalos apresentados auxiliam na definição de soluções que irão substituir o sistema atual e comporão o mapa do estado futuro (Taherdoost e Madanchian, 2023).

O diagnóstico é essencial para se compreender os gargalos de um processo, embasando ações enxutas no futuro. Para Dumas *et al.* (2018), o gerenciamento de processos abrange a cadeia de eventos e decisões que, no fim, geram valor para a organização e seus clientes. Os autores afirmam que a identificação das etapas estabelece critérios para a seleção de alternativas específicas para melhoria, já a modelagem auxilia na identificação e prevenção de problemas. Ainda segundo os autores, usar subprocessos reduz a complexidade do modelo, os quais podem ser reutilizados dentro de modelos diferentes. As informações inferidas dentro da organização são usadas para a criação do modelo e podem ser coletadas através de

entrevistas a participantes do processo ou da observação de como operam na prática (Dumas *et al.*, 2018).

Os processos podem ser analisados qualitativa e quantitativamente. Tais análises também foram definidas por Dumas *et al.* (2018): enquanto a análise qualitativa permite identificar e classificar oportunidades de melhoria, como etapas desnecessárias do processo e fontes de desperdício, a análise quantitativa auxilia no detalhamento dos resultados obtidos qualitativamente em termos de medida de produtividade e desempenho — ex. tempo de ciclo, tempo de espera, custo e utilização de recursos. Assim, as questões levantadas durante as análises desencadeiam várias direções para o redesenho do processo e a melhor forma de reorganizá-lo é conhecendo o maior número de alternativas existentes (Dumas *et al.*, 2018).

### **2.2.1 Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV)**

Uma das ferramentas *Lean* mais utilizadas é o *Value Stream Mapping*, Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) em português. O método desenvolvido por Rother e Shook (2003) realiza uma modelagem do estado atual do processo, para melhorar a produtividade através de três métodos: (i) modificação; (ii) eliminação; (iii) melhoria das atividades. Para Lee e Snyder (2006), o principal objetivo do MFV é a eliminação do desperdício que não é aparente. Os autores (2006) especificam três testes para verificar a existência de desperdícios:

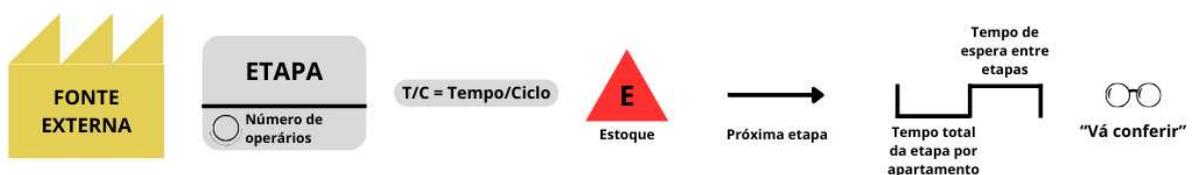
- A atividade transforma fisicamente o produto de alguma forma? Se sim, provavelmente agrega valor;
- O cliente se recusaria a pagar o custo caso observasse a atividade? Se sim, provavelmente não agrega valor;
- O cliente saberia diferenciar o produto se a atividade fosse eliminada? Se sim, provavelmente adiciona valor.

Logo, todo serviço que é invisível para o cliente é tido como desperdício, não tendo, portanto, o chamado Valor Adicionado (Lee e Snyder, 2006). Esses serviços que não adicionam valor devem ser minimizados ou removidos, desde que não

compreendam operações de fixação de elementos e componentes construtivos imprescindíveis.

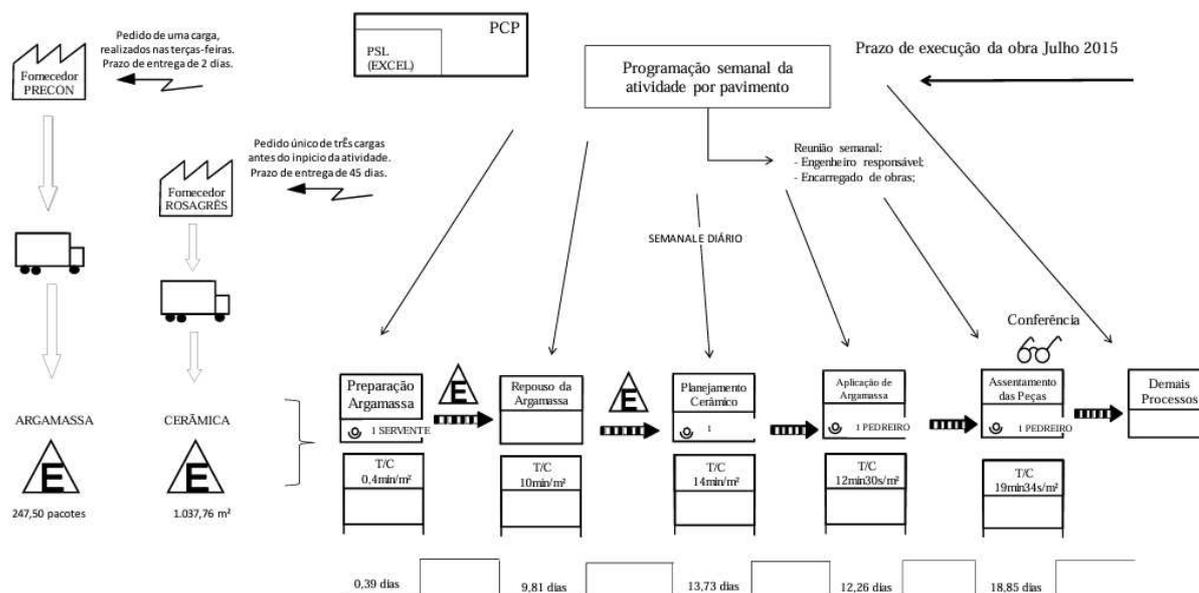
Ramani e Lingan (2019) aplicaram práticas *Lean* na construção civil utilizando MFV e detalharam seus passos primordiais. Inicialmente, é feita uma seleção da sequência de atividades que se deseja analisar. Sabe-se que em uma construção típica, cada grande etapa dura um período relativamente longo, abrangendo muitos processos que resultam em produtos diferentes. Logo, convém selecionar um conjunto de atividades sequenciais que formam um processo individual a fim de aplicar o MFV na construção. Com isso, os autores indicam a elaboração do Mapa do Estado Atual que é o desenho do processo em análise da forma que vem sendo tramitado. Para isso, é necessário coletar as informações diretamente no local de trabalho a fim de facilitar a real identificação de desperdícios e propor ações de melhoria (Ramani e Lingan, 2019). A partir daí, torna-se viável a execução do Mapa do Estado Futuro, o qual torna o processo mais eficaz, com menores tempos de espera, maior qualidade e menor custo (Ramani e Lingan, 2019). A construção dos mapas de estado atual e futuro do processo em estudo seguem uma simbologia própria, as quais foram resumidas na Figura 2. Um exemplo de MFV presente na literatura é apresentado na Figura 3.

**Figura 2 - Simbologia adotada no MFV**



Fonte: Autor (2024)

**Figura 3 - MFV do estado atual do processo de revestimento cerâmico de um pavimento de um empreendimento residencial**



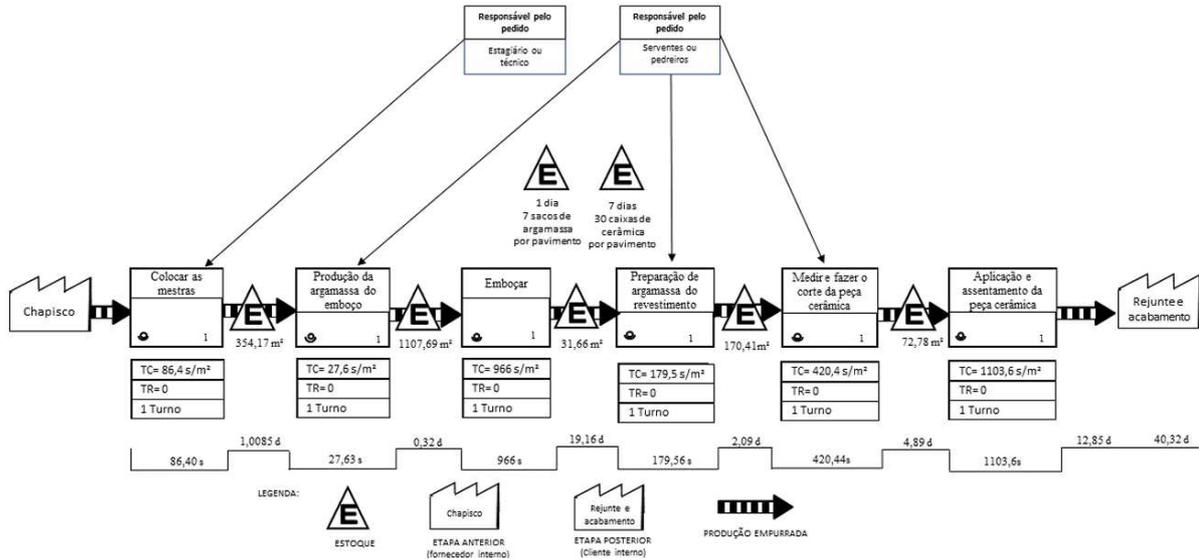
Fonte: Ferreira *et al.* (2016)

De acordo com Rother e Shook (2003), as fontes externas referem-se às etapas anteriores ou posteriores que fornecerão ou receberão informações do processo mapeado. Os autores ainda definem as etapas que compõem o mapa de acordo com o nível de detalhamento desejado na análise e o dado incorporado no MFV, que no processo estudado é a duração de cada ciclo do serviço ( $T/C$ ) — unidade de tempo por área, geralmente  $[\text{min}/\text{m}^2]$ . Já o estoque é a quantidade de material utilizada tanto em cada etapa, quanto em todo o processo, o qual pode ser resumido em uma quantidade unitária de produto/serviço (Rother e Shook, 2003). Por fim, a conferência programada é a etapa de “vá ver”, em que o responsável pela qualidade confere o serviço realizado (Rother e Shook, 2003).

Rother e Shook (2003) afirmam que os MFVs podem ser elaborados de acordo com a produtividade de um operário ou relativos a uma unidade da produção (ex.  $h/\text{m}^2$ ). Em relação ao tempo, é calculada o tempo de duração da etapa em si e o tempo de espera que limita a próxima etapa de ser iniciada (Rother e Shook, 2003). Aplicações de MFV em serviços envolvendo cerâmicas estão cada vez mais comuns, como no trabalho de Ferreira *et al.* (2016) em um empreendimento residencial predial,

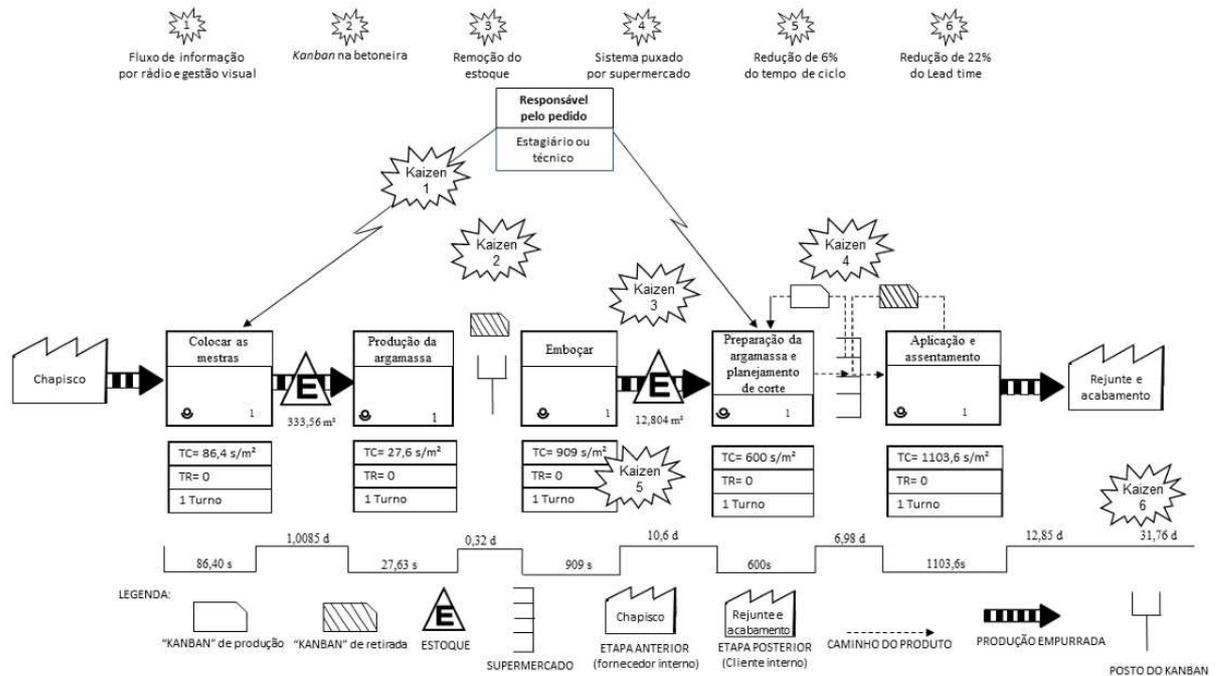
já exibido na Figura 3, e na proposta de melhoria de revestimentos de fachada de Cunha (2020), apresentadas na Figura 4 e na Figura 5.

**Figura 4 - MFV do estado atual de revestimento cerâmico de fachada**



Fonte: Cunha (2020)

**Figura 5 - MFV do estado futuro de revestimento cerâmico de fachada**



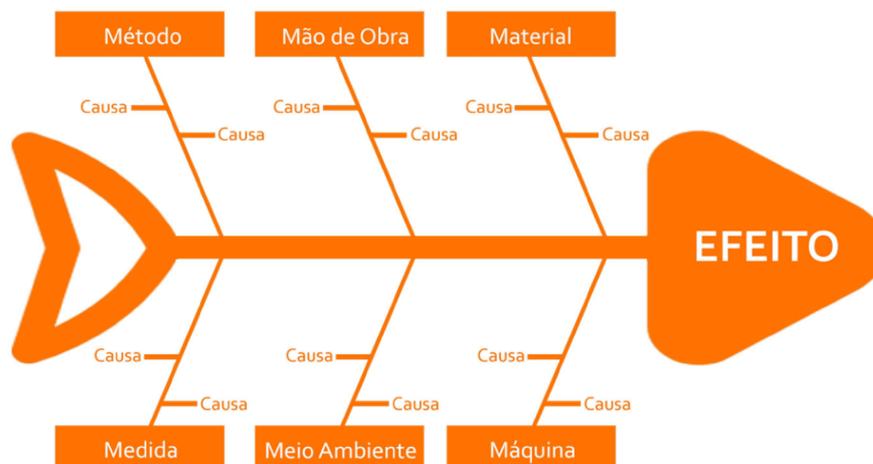
Fonte: Cunha (2020)

No trabalho de Ferreira *et al.* (2016), os autores identificaram que 18% do tempo total do revestimento cerâmico refere-se a atividades que não agregam valor ao produto final e que a aquisição dos materiais poderia ser otimizada a fim de diminuir o estoque em obra. Não foram realizados estudos do estado futuro do processo. Já no estudo de Cunha (2020) para fachadas, o MFV do estado futuro foi elaborado, com a análise contribuindo para elencar as seguintes intervenções: (i) utilização de uma metodologia de gestão visual que usa cartões de controle do fluxo de trabalho na betoneira que prepara a argamassa visando a redução de 6% no  $T/C$  do emboço; (ii) junção das etapas de produção da argamassa e de reabastecimento das peças no balancim e realização dos cortes quando necessário através do uso de *kits* com a quantidade precisa de peças previamente lixadas e cortadas para cada pavimento, visando a redução de 22% do tempo de espera com a redução do estoque.

### **2.2.2 Diagrama de Ishikawa (ou Diagrama de Causa e Efeito)**

No livro “Gestão de Qualidade Total”, Besterfield *et al.* (2012) afirmam que uma das melhores maneiras de aumentar a qualidade de produtos e serviços é controlá-los e desenvolver sistemas de melhorias contínuas nos processos que os envolve. Como exemplo, tem-se o Diagrama de Ishikawa, um modelo para melhorar a compreensão das prováveis causas e seus efeitos num determinado objeto de estudo (Besterfield *et al.*, 2012). Essa é uma técnica que visa investigar um efeito negativo de um processo/atividade e apresentar medidas para corrigir as suas causas (ou tirar aprendizados das causas de efeitos positivos) (Besterfield *et al.*, 2012). O levantamento dos dados que compõem é feito, geralmente, através de *brainstorming* (chuva de ideias).

Ainda de acordo com os estudiosos (2012), o efeito é a característica de qualidade que precisa de melhoria e as causas são divididas nas principais categorias apresentadas no diagrama: métodos de trabalho, materiais, medição, pessoas, equipamentos e ambiente. Sendo assim, o esquema se torna imagem composta de linhas e símbolos projetados para representar uma relação significativa entre um efeito e suas causas, possuindo, em geral, o formato de uma “espinha de peixe” (Besterfield *et al.*, 2012), conforme mostra o exemplo da Figura 6.

**Figura 6 - Diagrama de Ishikawa**

Fonte: SEBRAE (2022)

França e Lins (2021) analisaram o custo da utilização de ferramentas de qualidade no setor da construção civil com foco nas falhas de descolamento cerâmico. Uma das ferramentas utilizadas pelas autoras foi o Diagrama de Ishikawa, as quais elencaram as possíveis causas dos descolamentos apresentados na Figura 7. A partir disso, compararam-se a gestão de dois edifícios com procedimentos distintos na tratativa da questão estudada e concluiu-se que: (i) o conhecimento prévio dos riscos da não-qualidade cooperam para a redução dos custos na construção civil; (ii) a utilização de ferramentas como o Diagrama de Causa e Efeito coopera com o diagnóstico de falhas e serve de subsídio para elaboração de um plano de ação voltado para a correção delas (França e Lins, 2021).

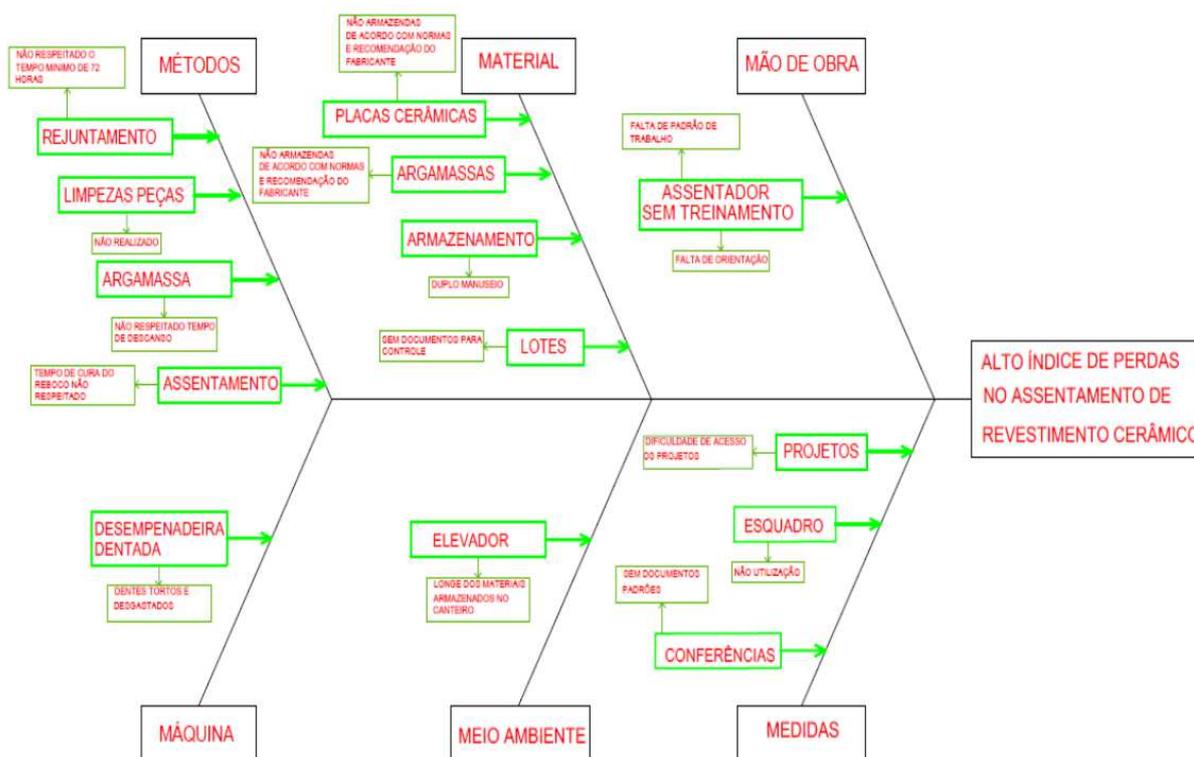
**Figura 7 - Diagrama de Ishikawa na análise de descolamentos cerâmicos**



Fonte: França e Lins (2021)

Silva (2021) mapeou o processo de revestimento cerâmico e uma das ferramentas utilizadas também foi o Diagrama de Ishikawa, o qual está representado na Figura 8. A autora propôs melhorias no processo relacionadas a: (i) planejamento: organização na compra de materiais (certificação e garantia) e colagem de projetos nas paredes do canteiro para melhor acesso; (ii) execução: padronização dos procedimentos, uso de ferramentas mais tecnológicas e uso de espaçadores niveladores; e (iii) controle: uso de documentos padrões para conferência de serviços e rastreabilidade dos lotes.

**Figura 8 - Diagrama de Ishikawa do processo de revestimento cerâmico**



Fonte: Silva (2021)

### 2.2.3 Matriz SWOT

Para Kotler, Keller e Chernev (2022), uma administração bem-sucedida requer capacidades para entregar valor para os clientes, sendo o planejamento estratégico uma das principais: determinar iniciativas para alcançar um estado futuro com resultados efetivos e uso de recursos eficientes. Dentre diversas ferramentas para esse fim, a Matriz SWOT, uma avaliação global que monitora os ambientes internos e externos do processo a fim de tirar o melhor proveito de suas oportunidades e neutralizar efetivamente as ameaças que o cercam (Kotler, Keller e Chernev, 2022).

A análise do ambiente externo ocorre percepção de oportunidades (áreas de necessidade e interesse as quais é muito provável que sejam atendidas pelo fornecedor/construtor) e ameaças (desafios impostos por um evento desfavorável que podem impactar negativamente caso não haja uma ação defensiva) (Kotler, Keller e Chernev, 2022). Já a análise interna foca na capacidade de aproveitar tais oportunidades e neutralizar tais ameaças, sem necessariamente corrigir todas as suas

fraquezas e se vangloriar de todas as suas forças: o fornecedor/construtor deve se limitar às oportunidades que seus recursos estão alocados ou deve examinar outras que o exigem novas forças? (Kotler, Keller e Chernev, 2022). A partir dessa análise, as metas podem ser estabelecidas, as estratégias formuladas e os programas elaborados e implementados (Kotler, Keller e Chernev, 2022).

Não existem matrizes SWOT voltadas para o serviço de revestimentos cerâmicos na literatura. Bovo (2016) avaliou a aplicabilidade da ferramenta no processo de planejamento de um projeto de empreendimento residencial de alto padrão, resultando no que está representado pela Figura 9. A empresa tratou as forças e fraquezas com foco nas oportunidades e ameaças, o que é possível devido à visualização das diversas perspectivas apresentadas pelo método e suas relações (Bovo, 2016).

**Figura 9 - Matriz SWOT do processo de planejamento de um empreendimento**

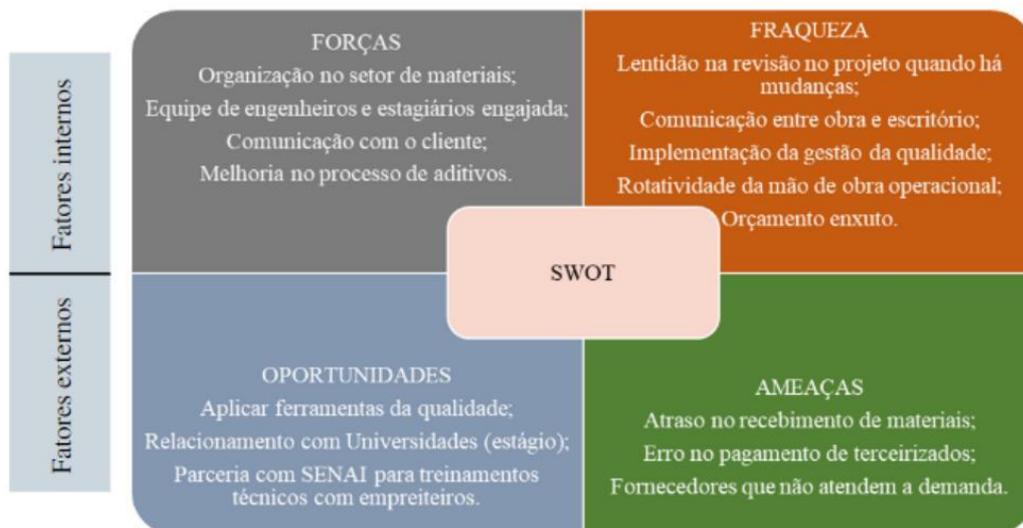
AMBIENTE INTERNO	<b>PONTOS FORTES/FORÇAS</b> Lições aprendidas (SPDA/áreas molhadas - estrutural) SGQ (Sistema de Gestão da Qualidade) Adoção de novas tecnologias Flexibilidade dos sócios Equipe qualificada Qualidade construtiva	<b>PONTOS FRACOS</b> Definição do tipo de laje pelo calculista Definição do tipo de fundação pelo arquiteto Compatibilização entre projetos Controle de produção/medição em excel Planejamento/orçamento em excel
AMBIENTE EXTERNO	<b>OPORTUNIDADES</b> Pouca concorrência/lançamento	<b>AMEAÇAS</b> Norma de Desempenho (ABNT 15.575/2013) Crise econômica e política Vizinhança (poeira, barulho)

Fonte: Bovo (2016)

Leite (2022) propôs indicadores de desempenho para medir a qualidade durante a execução de etapas gerais na obra de um empreendimento. Na metodologia, a autora elaborou a Matriz SWOT do setor, como mostra a Figura 10. A análise permitiu a conscientização dos(as) administradores(as) quanto à força de mercado que

possuem e quais os fatores internos e externos que influenciam o serviço de seus funcionários(as) e os resultados das obras (Leite, 2022).

**Figura 10 - Matriz SWOT da execução de obras de uma empresa**



Fonte: Leite (2022)

### 2.3 ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Os *Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Methods*, em português Métodos de Análise de Decisão Multicritério, foram desenvolvidos para apoiar os(as) tomadores(as) de decisão, fornecendo técnicas para encontrar uma solução otimizada de forma sistemática (Ishizaka e Nemery, 2013). Segundo Ishizaka e Nemery (2013), nesses métodos, o(a) tomador(a) de decisão é o(a) agente principal, pois fornece suas informações de preferência que o(a) direcionam à solução que melhor atenda os critérios em questão. Desse modo, a seleção da melhor alternativa se torna mais complexa à medida que o número de critérios aumenta, pois não existe uma opção perfeita para atender todos eles (Ishizaka e Nemery, 2013).

De acordo com Roy e Boyssou (1993), existem quatro tipos de decisão enfrentadas no dia a dia de qualquer pessoa:

- Problemas de escolha, como “Selecione o melhor tipo de telha a ser instalado em um galpão industrial dentre ‘PVC’, ‘cerâmica’, ‘metálica’ ou ‘fibrocimento’.”;
- Problemas de ordenação, como “Rankeie as cores de tintas claras ‘branca’, ‘bege’, ‘azul’, ‘verde’ e ‘cinza’ em relação à pintura de uma sala de estar.”;
- Problemas de classificação, como “Classifique os tipos de vedação vertical ‘alvenaria de concreto’, ‘alvenaria cerâmica’, ‘paredes de concreto’ e ‘drywall’ como ‘bom’, ‘regular’ e ‘ruim’ em relação ao critério ‘sustentabilidade’.”;
- Problemas de descrição, como “Descreva como os métodos construtivos se comportam em relação ao ‘custo’ (‘barato’, ‘médio’ ou ‘caro’) e ao ‘tempo de execução’ (‘rápido’, ‘médio’ ou ‘demorado’) dentre ‘método tradicional’, ‘construção modular pré-fabricada’ e ‘construção por impressão 3D’.”.

Vários métodos MCDA foram desenvolvidos para resolver esses problemas. A Tabela 2 descreve os tipos de problemas e destaca os métodos mais populares de cada um.

**Tabela 2 - Problemas e métodos de análise de decisão multicritério**

Problema		Escolha	Ordenação	Classificação	Descrição
		Seleção da melhor opção ou grupo equivalente	Ordenação das alternativas da melhor para a pior	Formação de grupos com características semelhantes	Descrever o problema em questão: alternativas, critérios e impactos.
MCDA					
<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	Analisa as alternativas de duas a duas e modela o problema hierarquicamente, considerando os critérios independentes um dos outros.	✓	✓	✓	
<i>Analytic Network Process (ANP)</i>	Generalização do AHP, considera o problema dependente de uma rede de critérios, logo não precisam ser independentes entre si.	✓	✓		
<i>Multiattribute Utility Theory (MAUT)</i>	A preferência do(a) decisor(a) é quantificada através de uma função de utilidade multiatributo que atribui desempenhos	✓	✓	✓	

Problema		Escolha	Ordenação	Classificação	Descrição
		Seleção da melhor opção ou grupo equivalente	Ordenação das alternativas da melhor para a pior	Formação de grupos com características semelhantes	Descrever o problema em questão: alternativas, critérios e impactos.
MCDA					
	a cada alternativa no determinado critério.				
<i>Measuring Attractiveness through a Categorical-Based Evaluation Technique (MACBETH)</i>	Permite mensurar atratividade das alternativas através de um modelo de questionamento par-a-par não numérico.	✓	✓		
<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)</i>	Constrói uma relação de sobreclassificação e uma função computa o grau de preferência da ação.	✓	✓	✓	✓
<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE)</i>	Constrói uma relação de sobreclassificação e explora essa relação com conceitos de concordância de preferência.	✓	✓	✓	
<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i>	<b>Avalia as performances de alternativas através da similaridade das mesmas com uma solução ideal.</b>	✓	✓		
<i>Goal Programming (GP)</i>	Investiga soluções por simulações que reveem prioridades e reestrutura planejamentos.	✓			
<i>Data Envelopment Analysis (DEA)</i>	Técnica em que os próprios elementos em análise servem automaticamente como parâmetro de eficiência uns aos outros.	✓	✓		

Fonte: Autor (2024) adaptado de Ishizaka e Nemery (2013)

Para Ishizaka e Nemery (2013), a seleção da ferramenta de apoio à decisão mais apropriada é árdua, pois nem todas são aplicáveis a todos os tipos de problema e, quando aplicáveis, dificilmente é de maneira perfeita. A escolha nem sempre tem justificativa simples visto que cada método tem suas limitações, particularidades, hipóteses, premissas e perspectivas (Ishizaka e Nemery, 2013). Ainda de acordo com

Ishizaka e Nemery (2013), a melhor maneira de escolher o método mais apropriado é observar as informações de entrada necessárias, o esforço da modelagem e os dados de saída.

Ao analisar cada modelo, o TOPSIS se destaca por ter apenas as soluções ideais positiva e negativa como informações de entrada, as quais são facilmente definidas pelo melhor desempenho dentre os critérios analisados (Ishizaka e Nemery, 2013). Além disso, o esforço da modelagem é considerado baixo e as informações de saída são materializadas pela ordenação completa com pontuação de proximidade às soluções ideais (Ishizaka e Nemery, 2013). Na ordenação completa é possível comparar todas as opções e classificá-las da melhor para a pior, onde uma pontuação ruim em um critério pode ser compensada por uma boa pontuação em outro critério (Ishizaka e Nemery, 2013). Pesquisas recentes utilizam o método TOPSIS para resolver problemas da construção civil, conforme descreve o estado da arte presente na seção 2.3.4. Portanto, baseando-se na definição do método, em trabalhos anteriores e no problema em questão, o algoritmo tem se mostrado como o método MDCA mais viável para a presente pesquisa.

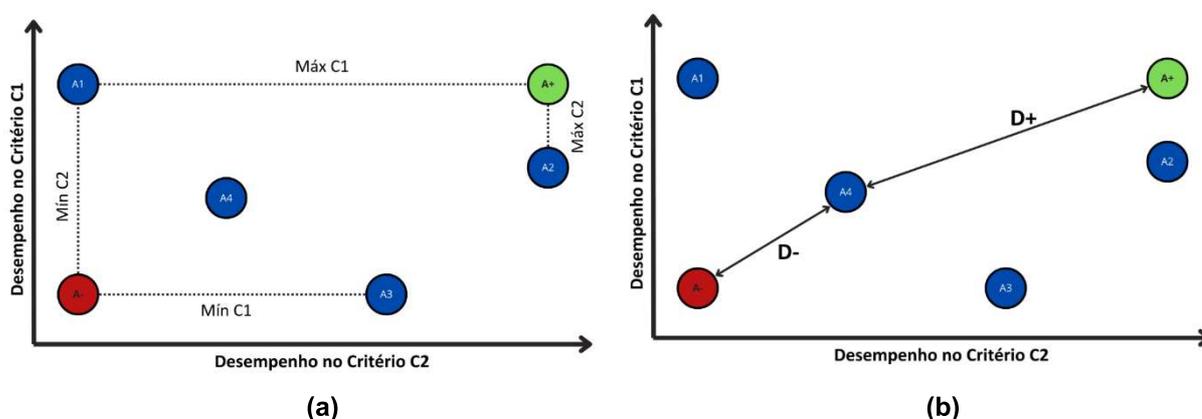
### 2.3.1 TOPSIS

O método TOPSIS foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981) e é uma técnica de avaliação de desempenho de alternativas através de suas similaridades com uma solução ideal. De acordo com os autores (1981), o método se baseia no conceito de que a alternativa escolhida deve ser a mais parecida com a solução ideal positiva ( $A^+$ ) e mais distante da solução ideal negativa ( $A^-$ ), as quais são definidas durante a análise, em relação a cada critério de decisão. Dessa forma, a  $A^+$  é constituída tomando-se os melhores valores possíveis, enquanto a  $A^-$  toma os piores valores (Hwang e Yoon, 1981).

Zeleny *apud* Hwang e Yoon (1981) baseia a abordagem na distância euclidiana mínima ponderada que cada alternativa tem para as soluções ideais em um sentido geométrico. Logo, a melhor alternativa deve estar mais próxima da  $A^+$  e mais distante da  $A^-$ , simultaneamente. Isso é possível calculando o coeficiente de aproximação para a  $A^+$  ( $CC$ ). Para ilustrar o conceito, a Figura 11(a) representa a definição de  $A^+$  e  $A^-$

em um espaço bidimensional referente aos desempenhos de quatro alternativas possíveis (A1, A2, A3 e A4) nos critérios supostos C1 e C2 e a Figura 11(b) exemplifica as distâncias euclidianas da alternativa A4 em relação às  $A^+$  e  $A^-$ , representadas por  $D^+$  e  $D^-$ , respectivamente.

**Figura 11 - (a) Definição das soluções ideais positiva ( $A^+$ ) e negativa ( $A^-$ ) em um espaço bidimensional referente aos desempenhos de quatro alternativas possíveis (A1, A2, A3 e A4) nos critérios supostos C1 e C2; (b) Distância euclidiana entre a alternativa A4 e às soluções ideais**



Fonte: Autor (2024)

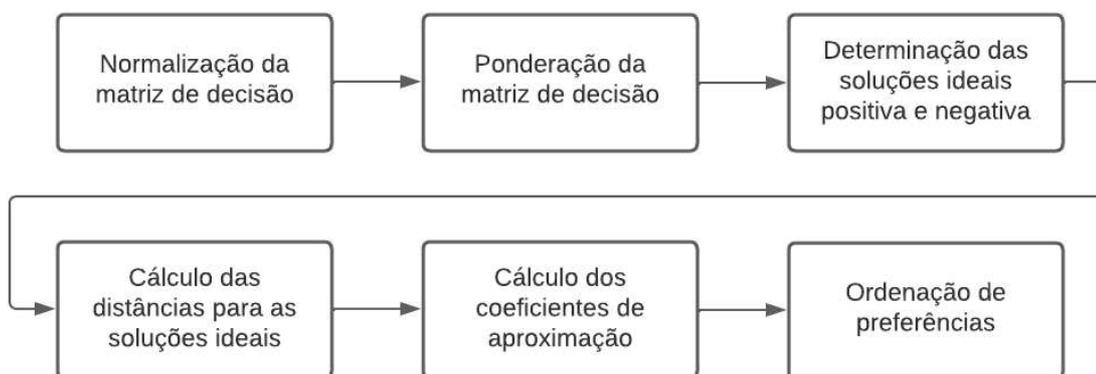
No método TOPSIS, os(as) tomadores(as) de decisão avaliam  $m$  alternativas ( $A_1$  a  $A_m$ ) levantadas previamente em relação à  $n$  critérios ( $C_1$  a  $C_n$ ) pré-estabelecidos. Tal avaliação é apresentada pela matriz de decisão  $D$  de tamanho  $m \times n$  que possui  $m$  linhas e  $n$  colunas. A matriz possui  $(m \cdot n)$  elementos  $x_{ij}$ , em que  $i$  representa o número da linha e  $j$  o número da coluna. A Equação (1) representa a matriz de decisão generalizada do método.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dentre os atributos  $C_j$  avaliados, existem os “critérios de benefício”, aqueles que quanto melhor o desempenho da alternativa, maior a preferência e os “critérios de

custo”, que quanto maiores os resultados da alternativa, menor a preferência (Hwang e Yoon, 1981). Além disso, o método recebe um conjunto de pesos  $w_j$  do(a) tomador(a) de decisão, já que não se pode presumir que todos os critérios sejam de iguais importâncias no julgamento (ex. durabilidade pode ser mais importante para o(a) tomador(a) de decisão do que estética) (Hwang e Yoon, 1981). A Figura 12 simplifica o algoritmo TOPSIS apresentado como uma série de etapas sucessivas proposta pelos autores do método. Na seção 0 será mostrado um exemplo didático da aplicação do método.

**Figura 12 - Etapas do método TOPSIS**



**Fonte: Autor (2024) baseado em Hwang e Yoon (1981)**

A normalização da matriz de decisão é realizada para transformar as várias dimensões dos atributos em critérios adimensionais, permitindo, assim, uma comparação entre eles. Assim, cada atributo terá o mesmo comprimento unitário de vetor. A maneira proposta é dividir o resultado de cada alternativa  $A_i$  no critério  $C_j$  pela norma do vetor de resultado total do critério em questão. Um elemento  $r_{ij}$  da matriz de decisão normalizada  $R$  pode ser calculado conforme a Equação (2).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2)$$

A ponderação da matriz de decisão normalizada  $R$  considera um conjunto de  $n$  pesos  $w = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n)$ , onde  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ , do tomador de decisão. Um

elemento  $v_{ij}$  da matriz de decisão normalizada ponderada  $V$  é calculada pela multiplicação de cada coluna da matriz  $R$  com seu peso associado  $w_j$ , como demonstra a Equação (3).

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (3)$$

A determinação das soluções ideais positiva  $A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\}$  e negativa  $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}$  é feita de acordo com o tipo de atributo avaliado. Para critérios de benefício, considera-se  $j \in J$ , sendo  $J = \{j = 1, 2, \dots, n\}$ . Já para critérios de custo,  $j \in J'$ , sendo  $J' = \{j = 1, 2, \dots, n\}$ . Sendo assim, define-se a alternativa mais preferível  $A^+$  e a menos preferível  $A^-$  de acordo com as Equações (4) e (5), respectivamente.

$$A^+ = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (4)$$

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (5)$$

O cálculo das distâncias que separam cada alternativa  $A_i$  das soluções ideais  $A^+$  e  $A^-$  é realizado pela distância euclidiana n-dimensional entre elas. A Equação (6) calcula a distância  $D^+$  para a solução ideal positiva  $A^+$  e a Equação (7) calcula a distância  $D^-$  para a solução ideal negativa  $A^-$ .

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

O cálculo das proximidades é realizado pela determinação do coeficiente de aproximação  $CC$  em relação à solução ideal  $A^+$ . Uma alternativa  $A_i$  está mais próxima de  $A^+$  à medida que  $CC$  se aproxima de 1. A equação (8) define  $CC$ .

$$CC = \frac{D^-}{(D^+ + D^-)}, \quad 0 < CC < 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

Por fim, a ordenação de preferência das alternativas  $A_i$  é dada pela ordem decrescente de  $CC$ . Um exemplo da aplicação dessa metodologia será dado na seção 0.

Para Lima Júnior e Carpinetti (2015), a técnica TOPSIS de fato requer menos esforço para coleta de dados e processamento computacional, entretanto é mais indicada para modelar valores cujos critérios quantitativos são precisamente conhecidos. Segundo os autores (2015), a técnica, assim como outras apresentadas até agora, utiliza valores numéricos em formato *crisp* — subconjuntos da lógica clássica que podem ser manipulados por meio de cálculos *booleanos* baseados no conceito de “verdadeiro” (1) ou “falso” (0). Por esse motivo, torna-se pouco adequada quando a modelagem utiliza variáveis qualitativas, pois além de ocorrer dificuldade para definir os pesos, pode ocorrer inversões na ordenação (Lima Júnior e Carpinetti, 2015). Sendo assim, Lima Júnior e Carpinetti (2015) afirmam que uma alternativa para contornar a incerteza nos dados é utilizar a lógica *fuzzy* a fim de realizar operações algébricas com valores numéricos intervalares.

Um bom exemplo para entender a utilização da lógica *fuzzy* na redução da subjetividade de valores em formato *crisp* é a classificação dos concretos quanto à massa específica determinada pela ABNT NBR 8953 (2015): leves quando abaixo de 2000 kg/m<sup>3</sup>, normais quando entre 2000 kg/m<sup>3</sup> e 2800 kg/m<sup>3</sup> e pesados quando acima de 2800 kg/m<sup>3</sup>. Entretanto, considerando tais limites de maneira rigorosa, encontra-se algumas inconsistências nas classificações que ficam mais evidentes quando se trata de valores próximos aos limiares. Considere dois concretos A e B de massas específicas 1999 kg/m<sup>3</sup> e 2001 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. De acordo com a ABNT (2015), o concreto A é classificado como “leve” e o concreto B é considerado como “normal”, prevalecendo a lógica clássica em que um valor lógico necessariamente será “verdadeiro” ou “falso”. Todavia, analisando os valores das massas específicas, nota-se que a diferença entre os concretos A e B é de apenas 2kg/m<sup>3</sup> (0,1%), o que experimentalmente não é tão significativo e pode até decorrer de erros aleatórios nos ensaios. Logo, a precisão desses valores não é tão significativa em casos como esse.

A lógica *fuzzy*, portanto, auxilia classificações (e ordenações) com as operações realizadas com números intervalares.

### 2.3.2 Lógica *fuzzy* (números nebulosos ou difusos)

A principal diferença de representação das informações das alternativas e critérios entre os métodos TOPSIS e *Fuzzy-TOPSIS* refere-se ao formato em que são tratadas: no primeiro é feita em formato numérico e no segundo de modo linguístico. Por causa disso, a lógica *fuzzy* mostra-se mais adequada para avaliar fatores intangíveis de forma precisa, já que a lógica clássica dificulta tal análise devido à natureza humana subjetiva (Lima Júnior e Carpinetti, 2015).

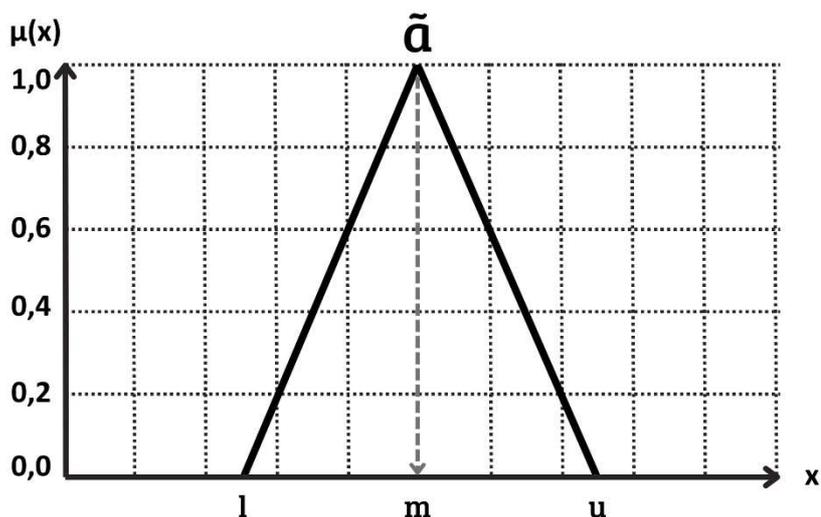
Na comparação de Lima Júnior e Carpinetti (2015) entre os modelos TOPSIS puro e *Fuzzy-TOPSIS*, os autores constataram que o *Fuzzy-TOPSIS* é mais adequado para critérios qualitativos e para critérios quantitativos em situações sob incerteza. Além disso, a inserção ou exclusão de alternativas não causa inversão na ordenação. Por outro lado, a coleta de dados e a modelagem são mais complexas, pois o modelo requer julgamentos adicionais para parametrizar os números difusos (Lima Júnior e Carpinetti, 2015). Ainda assim, segundo os autores (2015), as vantagens de se utilizar a lógica *fuzzy* superam as limitações de seu uso. No caso da massa específica de concretos, por exemplo, percebeu-se que a precisão dos valores não entregava a significância necessária para classificar um concreto de aproximadamente 2000 kg/m<sup>3</sup> como “leve” ou “normal”. Da mesma forma, na pesquisa sobre alternativas para revestimentos cerâmicos, exige-se uma maior significância dos dados coletados, permitindo que se perca a precisão que a lógica clássica possui.

Para definir o conceito de números difusos (*fuzzy*), Zadeh (1965) considerou um espaço de pontos  $X$  com elementos genéricos  $x$ . Desse modo,  $X = \{x\}$ . Um conjunto *fuzzy*  $A$  em  $X$  é caracterizado por uma função  $f_A(x)$  que associa a cada ponto de  $X$  um valor real no intervalo  $[0,1]$  com o valor de  $f_A(x)$  em  $x$  representando o grau de pertinência de  $x$  em  $A$  (Zadeh, 1973). Assim, quanto mais próximo o valor de  $f_A(x)$  estiver da unidade, maior será seu grau de pertinência em  $A$ . Quando  $A$  é um conjunto no sentido comum do termo, sua função de pertinência pode assumir apenas dois valores: 0 e 1, ou seja,  $x$  pertence ou não a  $A$  (Zadeh, 1973). Logo, é essencial

esclarecer que definições envolvendo conjuntos *fuzzy* são extensões óbvias das definições correspondentes para conjuntos comuns.

A lógica *fuzzy* faz o uso de variáveis linguísticas, as quais utilizam um conjunto de termos linguísticos para mensurar seus valores de forma adequada (Zadeh, 1973). Uma variável linguística é definida em linguagem natural ou artificial, permitindo distinguir características por meio de progressões (Zadeh, 1973). Como no exemplo dos tipos de concreto quanto à massa específica, tem-se os termos linguísticos “leve”, “normal” e “pesado”. Os termos linguísticos são comumente representados por números *fuzzy* triangulares ou trapezoidais (Zadeh, 1973). No caso do método *Fuzzy-TOPSIS*, a representação é dada por um número *fuzzy* triangular  $\tilde{a}$  que pode ser definido por  $\tilde{a} = (l, m, u)$ , onde  $m$  denota um valor *crisp* (de pico) formal para o conjunto *fuzzy*,  $l$  é o limite inferior e  $u$  é o limite superior (Zadeh, 1973). A Figura 13 ilustra o número *fuzzy* triangular e a Equação (9) define sua função de pertinência de forma geral. A Tabela 3 define os valores numéricos relativos ao exemplo dos tipos de concreto e a Figura 14 representa as funções de pertinência relativas a cada classificação.

**Figura 13 - Número *fuzzy* triangular**



Fonte: Autor (2024)

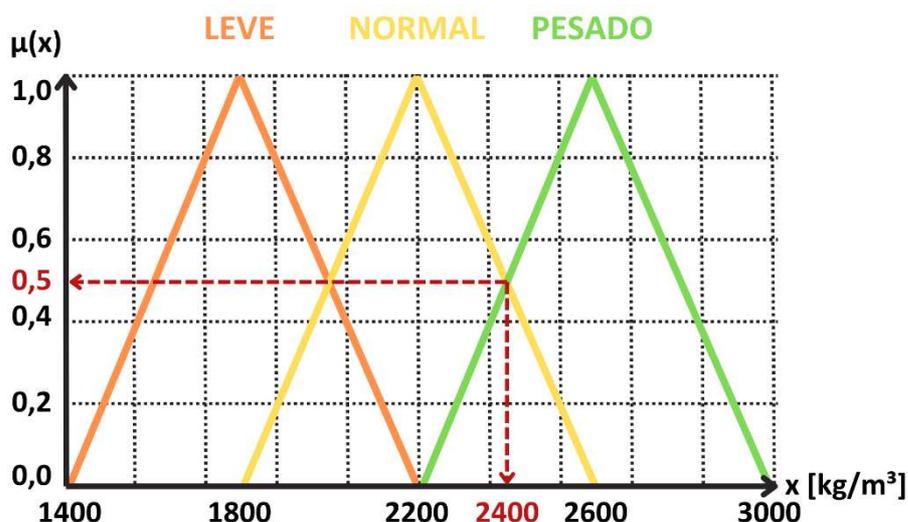
$$f_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{se } x \in [l, m] \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{se } x \in [m, u] \\ 0, & \text{se } x \geq u \end{cases} \quad (9)$$

**Tabela 3 - Tradução dos termos linguísticos para os valores numéricos relativos à classificação dos concretos quanto à massa específica**

Termo Linguístico	Tradução		
Concreto leve	1400	1800	2200
Concreto normal	1800	2200	2600
Concreto pesado	2200	2600	3000

Fonte: Autor (2024)

**Figura 14 - Funções de pertinência dos concretos em cada classificação**



Fonte: Autor (2024)

Com as definições dos tipos dos concretos em ambientes *fuzzy*, a significância dos valores aumenta e a classificação torna-se mais objetiva. Um concreto C com massa específica 2400 kg/m<sup>3</sup> não é classificada precisamente como “normal”, mas possui grau de pertinência em cada tipo em que flutua: pertence 50% à classe “normal” e 50% à classe “pesado”. Essa abordagem faz mais sentido em estudos que trabalham com critérios e alternativas variados, a fim de tangibilizar critérios

intangíveis e controlar operações realizadas em algoritmos complexos, como no caso do método TOPSIS. Nesse sentido, Zadeh (1965) também definiu operações algébricas básicas entre dois conjuntos *fuzzy*  $A$  e  $B$  que serão utilizadas no método *Fuzzy-TOPSIS*. Utiliza-se as equações (10) para soma, (11) para subtração, (12) para multiplicação e (13) para divisão.

$$A + B = [l_A, m_A, u_A] + [l_B, m_B, u_B] = [l_A + l_B, m_A + m_B, u_A + u_B] \quad (10)$$

$$A - B = [l_A, m_A, u_A] - [l_B, m_B, u_B] = [l_A - u_B, m_A - m_B, u_A - l_B] \quad (11)$$

$$A \cdot B = [l_A, m_A, u_A] \cdot [l_B, m_B, u_B] = [l_A \cdot l_B, m_A \cdot m_B, u_A \cdot u_B] \quad (12)$$

$$A \div B = [l_A, m_A, u_A] \div [l_B, m_B, u_B] = [l_A \div u_B, m_A \div m_B, u_A \div l_B] \quad (13)$$

### 2.3.3 *Fuzzy-TOPSIS*

No método *Fuzzy-TOPSIS*, os desempenhos de cada alternativa  $A_i$  nos critérios  $C_j$  e os pesos  $w_j$  desses critérios são descritos não só por um único valor, mas por um *range* de valores, representados por termos linguísticos que podem ser expressos nos chamados números difusos (Chen, 2000). Sendo assim, no modelo *Fuzzy-TOPSIS*, considera-se a já conhecida matriz de decisão  $D$  da Equação (1) com elementos  $x_{ij}$  e o vetor de pesos  $w_j$ , entretanto, ao invés de valores únicos, agora eles são representados por números *fuzzy* triangulares  $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  e  $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ . Para isso, as avaliações dos(as) tomadores(as) de decisão são consideradas variáveis linguísticas. Uma definição prévia dessas variáveis, assim como os números intervalares que as representa, deve ser definida previamente de acordo com a particularidade de cada tomada de decisão (Chen, 2000).

Para um suposto grupo de decisão que possua  $K$  tomadores(as) de decisão, a importância dos critérios e o desempenho das alternativas em relação a cada critério pode ser calculado de acordo com as Equações (14) e (15), respectivamente (Chen, 2000). Considera-se  $\tilde{w}_j^K$  e  $\tilde{x}_{ij}^K$  as avaliações do(a)  $K$ -ésimo(a) tomador(a) de decisão.

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots + \tilde{w}_j^K] \quad (14)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^K] \quad (15)$$

Desse modo, constrói-se os vetores de pesos *fuzzy*  $\tilde{w}$  e a matriz de decisão *fuzzy*  $\tilde{D}$ . A tomada de decisão é realizada conforme o exemplo apresentado pela Tabela 5 relativa aos critérios “C1 - sustentabilidade”, “C2 - produtividade”, “C3 - adequabilidade à obra” e “C4 - aceitabilidade cultural” e pela Tabela 6 relativa às alternativas “S1 - alvenaria cerâmica”, “S2 - alvenaria de concreto”, “S3 - *drywall*” e “S4 - paredes de concreto”. A tradução dos termos linguísticos adotados para definir a importância dos critérios e o desempenho das alternativas é detalhada pela Tabela 4 e pela Figura 15. O método torna-se lúcido com o exemplo em questão, no qual o(a) tomador(a) de decisão considerou o “C1 - sustentabilidade” de “Importância Média (IM)”, sendo-lhe atribuídos o valor formal ( $m$ ) de 3 e os limites inferior ( $l$ ) de 2 e superior ( $u$ ) de 4. Da mesma forma, ao considerar a solução “S3 - *drywall*” com desempenho “Muito Bom (MB)” no critério “C1 - sustentabilidade”, atribuiu-se o valor formal ( $m$ ) de 10 e os limites inferior ( $l$ ) de 7,5 e superior ( $u$ ) de 10.

**Tabela 4 - Tradução dos termos linguísticos para os valores numéricos em relação (a) aos critérios e (b) às alternativas**

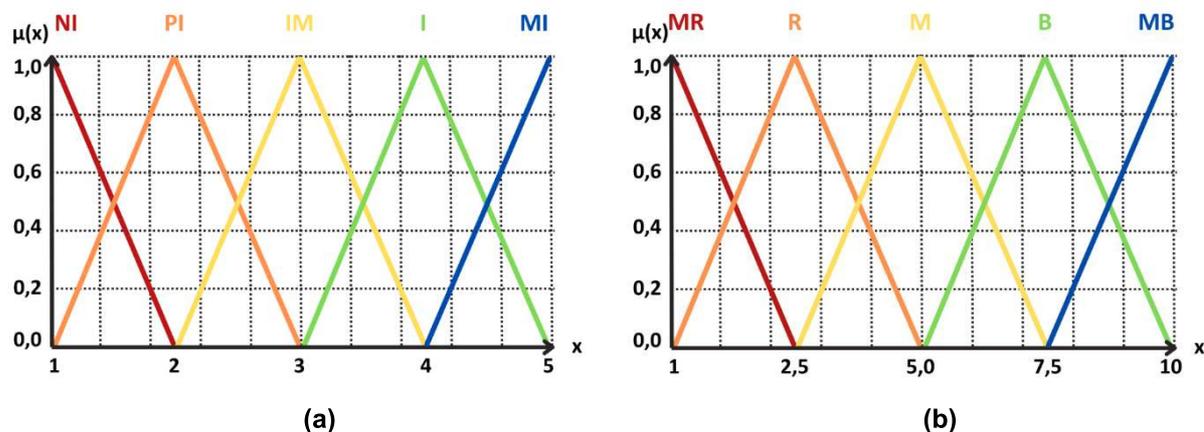
(a) Termos linguísticos (importância dos critérios)	Tradução		
Não Importante (NI)	1	1	2
Pouco Importante (PI)	1	2	3
Importância Média (IM)	2	3	4
Importante (I)	3	4	5
Muito Importante (MI)	4	5	5

(b) Termos linguísticos (desempenho das alternativas)	Tradução		
Muito Ruim (MR)	0	0	2,5
Ruim (R)	0	2,5	5
Médio (M)	2,5	5	7,5
Bom (B)	5	7,5	10
Muito Bom (MB)	7,5	10	10

Fonte: Autor (2024)

Figura 15 - Funções de pertinência (a) dos critérios e (b) das alternativas



Fonte: Autor (2024)

Tabela 5 - Exemplo (a) de julgamento dos critérios e (b) de tradução para os vetores de pesos

(a) Grau de importância dos critérios	
Critério	Termos linguísticos
C1 - Sustentabilidade	Importância Média (IM)
C2 - Produtividade	Muito Importante (MI)
C3 - Adequabilidade	Importante (I)
C4 - Aceitabilidade	Muito Importante (MI)

(b) Vetores de pesos dos critérios			
Critério	Tradução		
C1 - Sustentabilidade	2	3	4
C2 - Produtividade	4	5	5
C3 - Adequabilidade	3	4	5
C4 - Aceitabilidade	4	5	5

Fonte: Autor (2024)

**Tabela 6 - Exemplo (a) de julgamento das soluções e (b) de tradução para a matriz de decisão**

<b>(a) Desempenho das alternativas nos critérios</b>												
Solução	C1 - Sustentabilidade			C2 - Produtividade			C3 - Adequabilidade			C4 - Aceitabilidade		
S1 - Alvenaria cerâmica	Muito Bom (MB)			Médio (M)			Muito Bom (MB)			Muito Bom (MB)		
S2 - Alvenaria concreto	Bom (B)			Médio (M)			Muito Bom (MB)			Muito Bom (MB)		
S3 - <i>Drywall</i>	Muito Bom (MB)			Bom (B)			Bom (B)			Médio (M)		
S4 - Parede concreto	Ruim (R)			Muito Bom (MB)			Bom (B)			Bom (B)		

<b>(b) Matriz de decisão das alternativas</b>												
Solução	C1 - Sustentabilidade			C2 - Produtividade			C3 - Adequabilidade			C4 - Aceitabilidade		
S1 - Alvenaria cerâmica	7,5	10	10	2,5	5	7,5	7,5	10	10	7,5	10	10
S2 - Alvenaria concreto	5	7,5	10	2,5	5	7,5	7,5	10	10	7,5	10	10
S3 - <i>Drywall</i>	7,5	10	10	5	7,5	10	5	7,5	10	2,5	5	7,5
S4 - Parede concreto	0	2,5	5	7,5	10	10	5	7,5	10	5	7,5	10

Fonte: Autor (2024)

A partir disso, executa-se a metodologia da Figura 12, atentando-se ao fato de que agora trabalha-se em ambiente *fuzzy*. No *Fuzzy-TOPSIS*, a normalização é realizada pela transformação da escala linear para transformar as várias escalas de critérios  $C_j$  numa escala comparável (Chen, 2000). Segundo o autor (2000), a diferença existe para evitar a complexidade da normalização do algoritmo TOPSIS e preservar a propriedade de que os intervalos de números *fuzzy* triangulares normalizados pertencem a  $[0,1]$ . Portanto, obtém-se a matriz de decisão *fuzzy* normalizada  $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$  pelas Equações (16) ou (17), considerando que  $B$  e  $C$  são os conjuntos de critérios de benefício e de custo, respectivamente, e que  $c_j^+ = \max_i c_{ij}$ , se  $j \in B$  e  $a_j^- = \min_i a_{ij}$ , se  $j \in C$  (Chen, 2000). No exemplo, os vetores de pesos foram divididos pelo maior grau de importância existente (igual a 5) conforme apresentado pela Tabela 7. Já a matriz de decisão obedeceu ao predisposto pela Equação (16), visto que todos os atributos avaliados são critérios de benefício. A matriz de julgamento normalizados foi apresentada na Tabela 8.

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right), j \in B \quad (16)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), j \in C \quad (17)$$

Tabela 7 - Exemplo de vetores normalizados de pesos

Vetores de pesos dos critérios			
Critério	Normalização		
C1 - Sustentabilidade	2 / 5	3 / 5	4 / 5
C2 - Produtividade	4 / 5	5 / 5	5 / 5
C3 - Adequabilidade	3 / 5	4 / 5	5 / 5
C4 - Aceitabilidade	4 / 5	5 / 5	5 / 5

Importância máxima = 5



Vetores de pesos dos critérios			
Critério	Normalizados		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1 - Sustentabilidade	0,4	0,6	0,8
C2 - Produtividade	0,8	1	1
C3 - Adequabilidade	0,6	0,8	1
C4 - Aceitabilidade	0,8	1	1

Fonte: Autor (2024)

Tabela 8 - Exemplo de matriz normalizada de decisão

Matriz em normalização de decisão												
Solução	C1 - Sustentabilidade			C2 - Produtividade			C3 - Adequabilidade			C4 - Aceitabilidade		
S1 - Alvenaria cerâmica	7,5 / 10	10 / 10	10 / 10	2,5 / 10	5 / 10	7,5 / 10	7,5 / 10	10 / 10	10 / 10	7,5 / 10	10 / 10	10 / 10
S2 - Alvenaria concreto	5 / 10	7,5 / 10	10 / 10	2,5 / 10	5 / 10	7,5 / 10	7,5 / 10	10 / 10	10 / 10	7,5 / 10	10 / 10	10 / 10
S3 - Drywall	7,5 / 10	10 / 10	10 / 10	5 / 10	7,5 / 10	10 / 10	5 / 10	7,5 / 10	10 / 10	2,5 / 10	5 / 10	7,5 / 10
S4 - Parede concreto	0 / 10	2,5 / 10	5 / 10	7,5 / 10	10 / 10	10 / 10	5 / 10	7,5 / 10	10 / 10	5 / 10	7,5 / 10	10 / 10

C1 ∈ B ∴ c1+ = 10

C2 ∈ B ∴ c2+ = 10

C3 ∈ B ∴ c3+ = 10

C4 ∈ B ∴ c4+ = 10



Matriz normalizada de decisão												
Solução	C1 - Sustentabilidade			C2 - Produtividade			C3 - Adequabilidade			C4 - Aceitabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Alvenaria cerâmica	0,75	1	1	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1	0,75	1	1
S2 - Alvenaria concreto	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1	0,75	1	1
S3 - Drywall	0,75	1	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75
S4 - Parede concreto	0	0,25	0,5	0,75	1	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1

Fonte: Autor (2024)

Chen (2000) descreve a ponderação considerando as diferentes importâncias de cada critério  $C_j$ , construindo a matriz de decisão *fuzzy* normalizada ponderada  $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ , onde  $\tilde{v}_{ij}$  é calculado pela Equação (18). Nota-se que  $\tilde{V}$  mantém-se com elementos na forma de números *fuzzy* triangulares normalizados já que o vetor de pesos *fuzzy*  $\tilde{w}_j$  também é composto por intervalos pertencentes a  $[0,1]$ . No contexto do exemplo apresentado, a Tabela 9 apresenta a matriz de julgamentos normalizada e ponderada, a qual é resultado da multiplicação entre a Tabela 7 e a Tabela 8. O elemento  $\tilde{v}_{11}$ , destacado em azul, representa o desempenho da solução “S1 - alvenaria cerâmica” no critério “C1 - sustentabilidade”. O cálculo foi realizado pela Equação (18) obedecendo a operação algébrica definida pela Equação (12). A Equação (19) detalha a operação realizada.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (18)$$

**Tabela 9 - Exemplo de matriz normalizada e ponderada de decisão**

Matriz normalizada e ponderada de decisão												
Solução	C1 - Sustentabilidade			C2 - Produtividade			C3 - Adequabilidade			C4 - Aceitabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Alvenaria cerâmica	0,3	0,6	0,8	0,2	0,5	0,75	0,45	0,8	1	0,6	1	1
S2 - Alvenaria concreto	0,2	0,45	0,8	0,2	0,5	0,75	0,45	0,8	1	0,6	1	1
S3 - Drywall	0,3	0,6	0,8	0,4	0,75	1	0,3	0,6	1	0,2	0,5	0,75
S4 - Parede concreto	0	0,15	0,4	0,6	1	1	0,3	0,6	1	0,4	0,75	1

Fonte: Autor (2024)

$$\begin{aligned} \tilde{v}_{11} &= \tilde{r}_{11} \cdot \tilde{w}_1 = (0,75; 1; 1) \cdot (0,4; 0,6; 0,8) \\ \tilde{v}_{11} &= (0,75 \cdot 0,4; 1 \cdot 0,6; 1 \cdot 0,8) = (0,3; 0,6; 0,8) \end{aligned} \quad (19)$$

A determinação das soluções ideais positiva  $A^+$  e negativa  $A^-$  é definida de maneira similar ao método TOPSIS. Entretanto, nesse caso, os elementos  $\tilde{v}_{ij}$  são números *fuzzy*, logo são pertencentes ao intervalo  $[0,1]$ . Por essa perspectiva, define-se a alternativa mais preferível  $A^+$  e a menos preferível  $A^-$  de acordo com as Equações (20) e (21), respectivamente. Nota-se que, no *Fuzzy-TOPSIS*, as soluções

ideais positiva e negativa são compostas pelos maiores e menores valores possíveis, respectivamente. A Tabela 10 confirma as definições fixadas das soluções ideais.

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_j^+, \dots, \tilde{v}_n^+), \text{ onde } \tilde{v}_j^+ = (1,1,1), j = 1,2, \dots, n \quad (20)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_j^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \text{ onde } \tilde{v}_j^- = (0,0,0), j = 1,2, \dots, n \quad (21)$$

**Tabela 10 - Exemplo de soluções ideais positiva e negativa**

Soluções ideais positiva e negativa												
Solução ideal	C1 - Sustentabilidade			C2 - Produtividade			C3 - Adequabilidade			C4 - Aceitabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
Solução ideal A+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Solução ideal A-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autor (2024)

O cálculo das distâncias que separam cada alternativa  $S_i$  das soluções ideais  $A^+$  e  $A^-$ , relativas a cada critério  $C_j$ , é realizado pelo método do vértice definido pela Equação (22), sendo as alternativas  $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3)$  e as soluções ideais  $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$ . A Equação (23) calcula a distância total  $D^+$  para a solução ideal positiva  $A^+$  e a Equação (24) calcula a distância total  $D^-$  para a solução ideal negativa  $A^-$ . A Tabela 11 apresenta os cálculos das distâncias relativas a cada critério para  $A^+$  e  $A^-$ . Para melhor compreensão, a distância relativa ao critério “C1 - sustentabilidade” da alternativa “S1 - alvenaria cerâmica” para a solução ideal  $A^+$ , destacada em azul, foi calculada pela Equação (22). A Equação (25) detalha as operações algébricas realizadas. Ressalta-se que a distância total de cada alternativa para as soluções ideais é dada pela soma das distâncias relativas a cada critério que foram calculadas pela Equação (22). A Tabela 12 apresenta o resultado de  $D^+$  e  $D^-$ .

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \quad (22)$$

$$D^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

$$D^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (24)$$

**Tabela 11 - Exemplo de distâncias relativas a cada critério para a solução ideal (a) positiva e (b) negativa**

<b>(a) Distâncias para a solução ideal A+ em relação a cada critério</b>				
<b>Solução</b>	<b>C1 - Sustentabilidade</b>	<b>C2 - Produtividade</b>	<b>C3 - Adequabilidade</b>	<b>C4 - Aceitabilidade</b>
S1 - Alvenaria cerâmica	0,48	0,56	0,34	0,23
S2 - Alvenaria concreto	0,57	0,56	0,34	0,23
S3 - Drywall	0,48	0,38	0,47	0,56
S4 - Parede concreto	0,83	0,23	0,47	0,38

<b>(b) Distâncias para a solução ideal A- em relação a cada critério</b>				
<b>Solução</b>	<b>C1 - Sustentabilidade</b>	<b>C2 - Produtividade</b>	<b>C3 - Adequabilidade</b>	<b>C4 - Aceitabilidade</b>
S1 - Alvenaria cerâmica	0,60	0,53	0,78	0,89
S2 - Alvenaria concreto	0,54	0,53	0,78	0,89
S3 - Drywall	0,60	0,76	0,70	0,53
S4 - Parede concreto	0,25	0,89	0,70	0,76

Fonte: Autor (2024)

$$d(A_1, A^+) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \quad (25)$$

$$d(A_1, A^+) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot [(0,3 - 1)^2 + (0,6 - 1)^2 + (0,8 - 1)^2]} = \mathbf{0,48}$$

**Tabela 12 - Exemplo de distância total para as soluções ideais**

<b>Distâncias totais para as soluções ideais A+ e A-</b>		
<b>Solução</b>	<b>D+</b>	<b>D-</b>
S1 - Alvenaria cerâmica	1,61	2,81
S2 - Alvenaria concreto	1,70	2,75
S3 - Drywall	1,88	2,59
S4 - Parede concreto	1,90	2,59

Fonte: Autor (2024)

Por fim, o cálculo das proximidades é realizado de mesmo modo que a TOPSIS, utilizando a Equação (8). Assim, a ordenação de preferência das alternativas  $S_i$  é dada pela ordem decrescente de  $CC$ . A Tabela 13, enfim, mostra o ranqueamento final do exemplo apresentado de acordo com o  $CC$  de cada alternativa. Para melhor compreensão, o  $CC$  da alternativa “S1 - alvenaria cerâmica”, destacado em azul, foi calculado pela Equação (8). A Equação (26) detalha as operações algébricas realizadas.

**Tabela 13 - Exemplo de coeficientes de aproximação para a solução ideal positiva e ranqueamento final**

Coeficiente de aproximação das alternativas para A+ e ranqueamento final				
Solução	D+	D-	CC	Ranking
S1 - Alvenaria cerâmica	1,61	2,81	0,6352	1º
S2 - Alvenaria concreto	1,70	2,75	0,6170	2º
S3 - Drywall	1,88	2,59	0,5788	3º
S4 - Parede concreto	1,90	2,59	0,5759	4º

Fonte: Autor (2024)

$$D^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (26)$$

### 2.3.4 Estado da arte

Alguns autores já utilizaram o método *Fuzzy-TOPSIS* para tomadas de decisão na construção civil ou em indústrias que se relacionam com ela. O objetivo em comum foi a busca de alternativas que otimizassem sistemas pré-determinados. Como exemplo, Haghshenas *et al.* (2016) avaliaram os riscos do projeto de construção da barragem de Alavian (no Irã). Após consultas com especialistas e coleta de dados, 11 tipos de riscos (ambientais, técnicos, de acidentes etc.) foram analisados considerando três critérios: chance de repetição, possibilidade de ocorrência e eficácia do projeto. Como resultado, os riscos “erros técnicos de projeto” e “desastres naturais (ex. terremotos)” obtiveram as classificações mais alta e mais baixa na classificação (Haghshenas *et al.*, 2016).

Maghsoodi e Khalilzadeh (2018) identificaram e avaliaram 16 fatores críticos para sucesso de projetos de construção (de atividades do projeto, de gerenciamento, de recursos humanos e ambientais) em quatro critérios diferentes: tempo, custo, qualidade e segurança. Os três fatores críticos de sucesso mais importantes foram “planejamento estratégico e eficaz do projeto”, “alocação financeira apropriada” e “existência de equipe de projeto experiente e multidisciplinar” (Maghsoodi e Khalilzadeh, 2018).

Al Zubayer, Ali e Kabir (2019) analisaram 20 fatores de risco da cadeia de suprimentos da indústria cerâmica (de demanda, de capacidade, de transporte, ambientais, etc.) em relação a três critérios: probabilidade, gravidade e qualidade dos controles. Os autores concluíram que a “falta de qualidade operacional”, “falta de qualidade do material” e os “danos no estoque” foram os riscos mais relevantes. Os autores afirmaram que este modelo pode ser aplicável e benéfico para qualquer contexto de países em desenvolvimento para reduzir riscos no setor cerâmico (Al Zubayer, Ali e Kabir, 2019).

Saeli *et al.* (2020) selecionaram novas argamassas geopoliméricas obtidas reutilizando matérias-primas secundárias da indústria de celulose e papel que podem ser usadas em projetos arquitetônicos sustentáveis e inovadores, sob cinco critérios: propriedades no estado fresco (trabalhabilidade), propriedades no estado endurecido (densidade aparente, resistência à compressão uniaxial, deformação axial, absorção de água, transmitância térmica e calor específico), desempenho econômico (custo), impacto ambiental (ACV) e desempenho de segurança (toxicidade). Dentre as 13 argamassas avaliadas, surgiram como melhores alternativas aquelas contendo, em massa, 5% e 7,5%, respectivamente, da mistura de lodo calcário, resíduos alcalinos inorgânicos (principalmente calcita) e borras (feitos principalmente de carbonatos de sódio, cálcio e sulfetos) (Saeli *et al.*, 2020).

Akbari *et al.* (2020) o investigaram as funções mais importantes da fachada de uma edificação, descobrindo como elas influenciam seus diferentes ambientes. Os autores consideraram dois tipos de funções de fachadas (como conector e como barreira interior-exterior), totalizando sete funções a serem avaliadas por pesquisadores da área (Akbari *et al.*, 2020). Os cinco critérios considerados estavam atrelados aos cômodos considerados essenciais de uma moradia: cozinha, sala de

estar, hall, quarto dos pais e quarto dos filhos (Akbari *et al.*, 2020). O “controle da ventilação natural e do fluxo de ar” e o “fornecimento de luz natural suficiente” foram as funções que mais se destacaram (Akbari *et al.*, 2020).

O estudo que mais se assemelhou à presente pesquisa foi o de Athanasopoulos, Riba e Athanasopoulos (2009). Os autores elaboraram um sistema de apoio à decisão para seleção de revestimentos para proteção de peças mecânicas contra desgaste e corrosão. Um exemplo numérico considerou três materiais genéricos candidatos, sendo avaliados por cinco critérios: resistência à corrosão, resistência ao desgaste, aparência, dureza e condutividade térmica (Athanasopoulos, Riba e Athanasopoulos, 2009). Apesar do método utilizado ter sido o *Fuzzy-TOPSIS*, a pesquisa adaptou a definição da solução ideal positiva visto que havia valores que nem sempre coincidiam com o desempenho máximo em determinados critérios. Os autores exemplificam uma situação em que o(a) projetista poderia precisar de um revestimento macio, médio ou duro e, com isso, uma solução ideal positiva com a classificação de acordo com o desempenho máximo não atenderia sua demanda. Assim, Athanasopoulos, Riba e Athanasopoulos (2009) destacaram as principais vantagens de se utilizar o método *Fuzzy-TOPSIS*: (i) consideração simultânea de vários requisitos de projeto; (ii) método adequado para lidar com as propriedades qualitativas e quantitativas dos materiais; (iii) flexibilidade, pois o(a) tomador(a) de decisão pode facilmente redefini-lo e combiná-lo com a aplicação estudada; (iv) definição do “desempenho ideal” como o desempenho desejado e não necessariamente com o valor máximo; (v) método facilmente informatizado e colaborativo (Athanasopoulos, Riba e Athanasopoulos, 2009).

Em resumo, as pesquisas que utilizaram o método *Fuzzy-TOPSIS* aplicado à construção civil obtiveram resultados promissores. Considerando os objetivos do presente trabalho, acredita-se no sucesso deste método na busca às respostas das questões de pesquisa. Não foram encontrados artigos que propusessem resolver os desafios que motivaram o trabalho, logo considera-se uma lacuna na literatura que será preenchida após a conclusão do cronograma de atividades. Apesar do *Fuzzy-TOPSIS* requerer julgamentos adicionais e possuir maior complexidade computacional em relação ao *TOPSIS* clássico (Lima Júnior e Carpinetti, 2015), ainda é bastante simples por requerer poucas informações de entrada e baixo esforço de modelagem assim como seu predecessor (Ishizaka e Nemery, 2013). Algumas

limitações podem ser destacadas, como a demanda de tempo e *know-how* dos(as) tomadores(as) de decisão para que eles possam pesar as alternativas de forma consciente. Entretanto, os reveses não são suficientes para interferir na qualidade dos resultados, como já foi visto na revisão da literatura recente.

### 3 METODOLOGIA

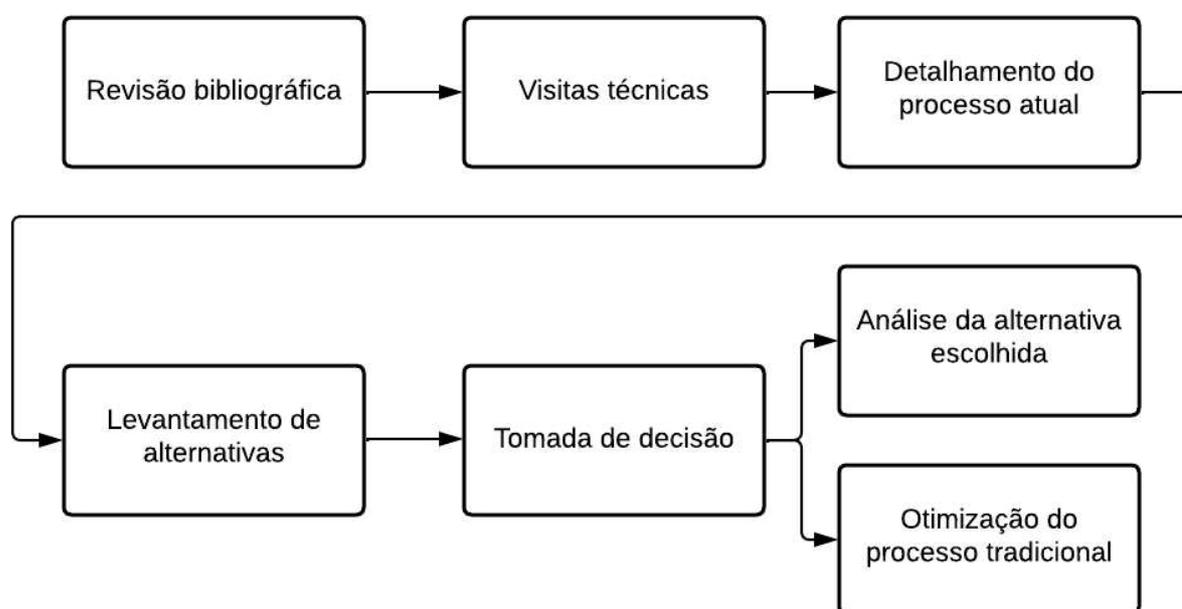
A presente pesquisa faz parte do programa Mestrado Acadêmico para Inovação (MAI) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O programa foi lançado com o objetivo de formar recursos humanos para a pesquisa aplicada, auxiliar no desenvolvimento tecnológico das indústrias, fomentar projetos inovadores e estimular parcerias entre Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICT) e empresas brasileiras (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021). Nesse contexto, a parceria entre a academia e a indústria foi estabelecida em parceria com uma construtora de grande porte a nível nacional de acordo com a Política de Inovação da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) através do Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia (CRITT). O projeto envolveu representantes da empresa parceira e a equipe de pesquisa da UFJF composta pela professora coordenadora (orientadora) Júlia Castro Mendes do Departamento de Construção Civil da UFJF, pelo mestrando autor do trabalho Eduardo Fonseca Ribeiro e dois alunos de Iniciação Científica: Helena Cruz Souza do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFJF e Thiago Vieira Silveira do curso de Engenharia Civil da UFJF.

#### 3.1 VISÃO GERAL DO PROJETO

No presente projeto, três tipos de pesquisa serão aplicados: bibliográfica, exploratória e estudo de caso. A revisão bibliográfica é realizada em materiais publicados e identifica as lacunas de pesquisa (Martelli *et al.*, 2020). A pesquisa iniciou-se na etapa de busca de fontes existentes, já que o projeto já possui tema e problema formulado previamente. As leituras e fichamentos foram organizados a fim de redigir o capítulo introdutório e de revisão de literatura desse trabalho. A pesquisa exploratória é contínua e estuda problemas com temas pouco conhecidos fornecendo dados qualitativos ou quantitativos para encontrar a solução (Martelli *et al.*, 2020). É realizada toda vez que o estudo precisa de direcionamento, partindo de pouco conhecimento até o domínio do assunto. A principal aplicação ocorreu no levantamento de alternativas para as placas cerâmicas, como será visto nas próximas seções. Por fim, o estudo de caso serve para detalhar um objeto a fim de dominar o

conhecimento sobre ele, sendo adequado para investigar fenômenos contemporâneos dentro de seus contextos reais e seus limites (Martelli *et al.*, 2020). O estudo de caso do trabalho constituirá o próprio objeto da pesquisa. A metodologia foi formulada e validada a partir da investigação de seu contexto e será utilizada para aperfeiçoar o processo produtivo, tornando-o mais eficaz. A visão geral das etapas do projeto é apresentada na Figura 16.

**Figura 16 - Visão geral do projeto**



Fonte: Autor (2024)

### 3.2 REALIZAÇÃO DE VISITAS TÉCNICAS

Concomitantemente à revisão de literatura, a equipe de pesquisa visitou duas obras da construtora parceira na cidade de Juiz de Fora (MG). Os dois empreendimentos são para fins residenciais e estavam na fase de revestimentos de áreas expostas à água. A empresa forneceu os projetos arquitetônicos, as especificações técnicas e os procedimentos executivos a fim de contextualizar a equipe e auxiliar no detalhamento do processo atual. Os documentos não serão divulgados na íntegra por motivos de confidencialidade. Ressalta-se que a mão de obra é realizada por empreitada contratada na cidade, como já de costume da

empresa. Segundo o encarregado, há um treinamento prévio para alinhar os padrões de qualidade da empresa e fiscalização posterior, apesar de cada empreiteiro aplicar as cerâmicas segundo sua experiência e com as próprias ferramentas (sem padrão).

Durante as visitas técnicas, as atividades de revestimento foram observadas e registradas através de anotações, fotos e vídeos. Os guias das visitas foram os responsáveis pela execução das obras, especificamente o encarregado e o engenheiro residente, os quais forneceram mais detalhes através de entrevistas espontâneas. Os empreiteiros presentes nas obras também relataram suas vivências e as principais dificuldades encontradas durante o processo de revestimento de banheiros, cozinhas e áreas de serviço. A Figura 17 mostra o *layout* referente a algumas das unidades visitadas, que foi utilizado como base da presente pesquisa.

**Figura 17 - *Layout* utilizado como base do estudo – áreas expostas à água hachuradas (escala 1:85)**



**Fonte: Autor, a partir do projeto cedido pela empresa parceira (2024)**

Os empreendimentos visitados são executados em paredes de concreto autoportantes moldadas *in loco* e estão localizados na cidade de Juiz de Fora - MG. O primeiro empreendimento possui uma torre com 12 pavimentos e duas torres com 11 pavimentos, sendo oito unidades por pavimento, totalizando 272 unidades; o segundo possui dois blocos com 15 pavimentos de oito unidades cada, totalizando

240 unidades. As unidades habitacionais possuem entre 37 e 45 m<sup>2</sup> e são financiadas pelo “Minha Casa, Minha Vida” (Faixa 1) — programa de recursos do Governo Federal para produção de unidades habitacionais subsidiadas para a aquisição da moradia por famílias com renda mensal bruta de até dois salários mínimos (Caixa Econômica Federal, 2023). Importante ressaltar que a empresa possui mais de 400 *layouts* diferentes a fim de atender às estratégias comerciais e às legislações locais de todas as cidades em que opera. Portanto, as plantas não são moduladas conforme a cerâmica e nem a cerâmica é adaptada à paginação de cada caso.

As unidades estudadas fazem parte de um pacote básico de revestimentos em que apenas os boxes dos banheiros são revestidos até o teto e as paredes hidráulicas das cozinhas e dos banheiros são revestidas até a metade. No banheiro, o revestimento em cerâmica totaliza cerca de 9,1 m<sup>2</sup> de parede e 2,4 m<sup>2</sup> de piso; já na cozinha, 6,2 m<sup>2</sup> de parede e 6,3 m<sup>2</sup> de piso. As demais paredes são revestidas com massa acrílica e tinta. No pacote básico, a cerâmica das paredes das cozinhas e dos banheiros são na cor branca com medidas 30 x 40 cm. As placas dos pisos dos dois ambientes também são na cor branca, porém de 45 x 45 cm. Os rodapés também são feitos de cerâmica, geralmente provenientes dos cortes nas peças.

A empresa parceira disponibiliza outros pacotes mais elaborados caso o(a) cliente final deseje outras formas de revestimento, incluindo fechamento total das paredes com cerâmica e o uso de uma cerâmica com estampa amadeirada. Mas a construtora afirma que mais de 80% das vendas são com o pacote básico. A Figura 18 apresenta uma cozinha (a) e um banheiro (b) de uma unidade padrão com revestimentos do pacote básico finalizados, antes da limpeza.

**Figura 18 - (a) Cozinha e (b) banheiro padrões com revestimentos cerâmicos**



Fonte: Autor (2024)

### 3.3 DETALHAMENTO DO PROCESSO ATUAL

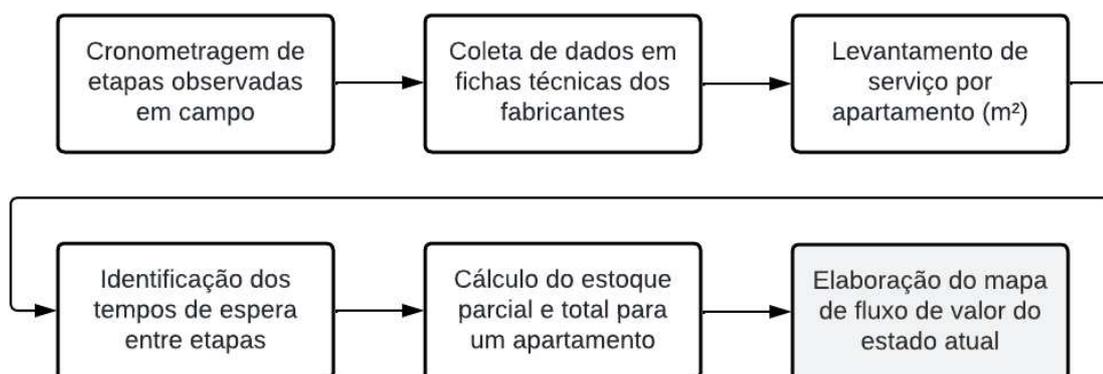
Para o diagnóstico do estado atual do serviço, foram feitas três análises: o mapeamento de fluxo de valor (MFV), a análise das causas de possíveis problemas (Diagrama de Ishikawa) e a análise dos ambientes interno e externo que o processo está inserido (Matriz SWOT).

#### 3.3.1 Elaboração do MFV do estado atual

O MFV analisou as etapas do processo para aplicação do revestimento cerâmico e os tempos de cada ciclo detalhadamente. Para sua montagem, a equipe reuniu os dados coletados nas visitas técnicas, as informações fornecidas pela empresa parceira e os dados dos fabricantes dos produtos utilizados nas obras. Como resultado, foi calculado o tempo necessário para cada etapa e para revestir uma

unidade habitacional inteira. A Figura 19 resume as etapas da execução do mapeamento.

**Figura 19 - Etapas da elaboração do mapa de fluxo de valor do estado atual**



Fonte: Autor (2024)

Inicialmente, a equipe cronometrou as etapas observadas em campo através da filmagem da execução das etapas de preparação da argamassa, assentamento e nivelamento, preparação do rejunte e rejuntamento. A execução dos rodapés em paredes que os possuem não foi considerada. Em cada unidade visitada, foram registradas ao menos duas sequências de instalação de piso ou parede. Houve necessidade de diferenciar as execuções de paredes e pisos e de peças com e sem corte, devido às particularidades que interferem no tempo de execução. Em seguida, foram coletados os dados dos fabricantes da argamassa, das cerâmicas e do rejunte, relativos ao consumo de cada produto por  $m^2$ . Com essas informações, foi possível calcular o tempo por ciclo ( $T/C$ ), em  $[min/m^2]$ , de cada etapa.

Para encontrar o tempo necessário para o revestimento de um apartamento, foi levantada a quantidade de serviço necessária em  $m^2$  para paredes e pisos de cozinhas e banheiros, diferenciando o número de peças inteiras e cortadas com base no projeto de paginação fornecido pela empresa. Os tempos de espera (cura) entre cada etapa foram identificados com a empresa parceira e os guias dos materiais adotados (argamassa e rejunte industrializados) para, por fim, ser possível determinar o tempo necessário para revestir cada ambiente e cada apartamento. Adicionalmente, com os

dados de consumo fornecidos pela empresa e os serviços levantados, calculamos o estoque a ser utilizado em cada etapa e em uma unidade de apartamento.

Foram elaborados dois MFVs do estado atual: um para o processo de revestimento das paredes e outro para os pisos. Para isso, definiu-se as fontes externas e desencadeou-se as etapas com seus dados de acordo com o fluxo de informação do processo. Como os revestimentos são tradicionalmente feitos por um único empreiteiro, determinou-se que cada ciclo seria referente a um operário. A fim de identificar o tempo de execução total de revestimento cerâmico de um apartamento, criou-se a linha do tempo na parte inferior do mapa.

A fim de complementar a análise quantitativa, a empresa parceria forneceu dados do cronograma com os marcos relacionados ao início e fim da fase de revestimento das áreas expostas à água das obras visitadas. A partir deles, calculou-se a produção do serviço (em  $h/m^2$ ). Tais resultados podem servir como base de futura comparação com as soluções propostas no fim desse trabalho. Entretanto, deve-se buscar dados relacionados aos recursos utilizados no processo a fim de se comparar em termos de produtividade.

### **3.3.2 Elaboração do Diagrama de Ishikawa**

A fim de detalhar o processo atual qualitativamente, analisou-se os riscos aos quais ele está submetido através do Diagrama de Ishikawa. O intuito era de investigar um efeito negativo no processo de revestimento de banheiros e cozinhas e apresentar as suas possíveis causas. Sendo assim, a equipe de pesquisa se reuniu e elencou através de um *brainstorming* para elencar os riscos que o processo está exposto, assumindo o efeito “aplicação não conforme do revestimento cerâmico”. A literatura também foi consultada a fim de considerar itens que podem ter não sido considerados durante a reunião de levantamento.

### **3.3.3 Elaboração da Matriz SWOT**

Dando prosseguimento ao detalhamento qualitativo do processo atual, analisou-se os ambientes externo e interno do procedimento tradicional. Também por meio de

*brainstormings*, a equipe de pesquisa analisou quais as áreas de necessidade que possuem potencial de serem atendidas pelo método (oportunidades) e os desafios impostos que podem impactá-lo negativamente (ameaças). A partir disso, elencaram, também, as forças e fraquezas internas do processo atual. A literatura existente serviu como base para o levantamento SWOT. A matriz completa permite comparações futuras e servirá como base para tomada de decisão em relação aos riscos que o método está submetido.

### 3.4 LEVANTAMENTO DE ALTERNATIVAS

A partir dos gargalos e das potenciais melhorias vistas em campo, abriu-se a possibilidade para mudança. Com esse intuito, iniciou-se a fase de identificação das alternativas para o sistema de placas cerâmicas através da pesquisa exploratória. O levantamento ocorreu em quatro etapas: exploração, detalhamento, categorização e análise.

A etapa de exploração ocorreu por meio de procura em sites de busca, redes sociais e sites de fabricantes e fornecedores nacionais e internacionais do segmento de revestimento. Voltou-se ao uso dos operadores *booleanos*, junto às palavras-chave pesquisadas nos idiomas português, inglês e espanhol, tais como: “kit de azulejos pré-fabricados”, “revestimentos magnéticos”, “revestimentos inovadores”, “revestimentos fáceis de instalar”, “banheiro pré-fabricado”, “tecnologias e inovações de revestimento”, “painéis de parede impermeáveis” e “sistemas de parede impermeáveis”. Outra fonte de dados foi a visita da equipe de pesquisa à maior feira de revestimentos da América Latina, a Expo Revestir 2024, na qual mais de 300 marcas de fornecedores expuseram as últimas tendências do mercado e suas inovações desenvolvidas.

Em seguida, realizou-se o detalhamento de cada solução a partir das informações disponíveis. Foram levantados os países de origem, custos, tamanhos, manuais de instalação, locais de aplicação e possíveis estudos de casos que já utilizaram os sistemas. A partir disso, notou-se que havia certa similaridade no método de instalação das alternativas, dando início à fase de categorização de acordo com essa característica. Por último, analisou-se as vantagens e as desvantagens de cada

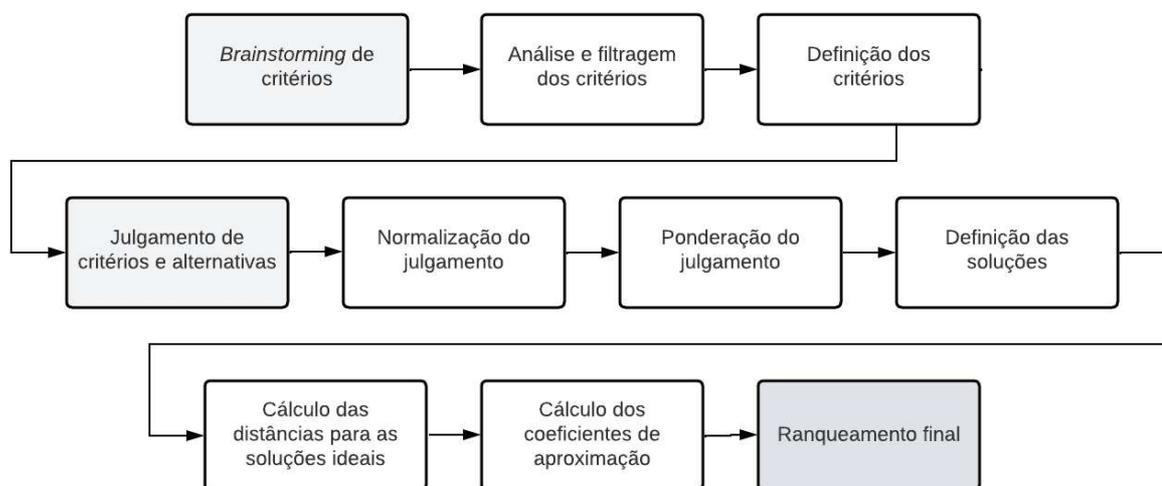
categoria a partir de informações fornecidas pelos fabricantes com o intuito de auxiliar os(as) tomadores(as) de decisão na sua fase de escolha final.

### 3.5 TOMADAS DE DECISÃO

Uma rodada-teste com pesquisadores(as) da UFJF, UFOP e IF Sudeste MG foi realizada em 21/05/2024 para alinhar os critérios iniciais propostos para a tomada de decisão. A reunião levantou considerações que deviam ser corrigidas no modelo antes de apresentar aos representantes dos setores de Produtos, de Suprimentos e de Orçamento da empresa parceira. A partir disso, uma reunião foi realizada com esses representantes da empresa em 25/06/2024 a fim de apresentar os primeiros resultados (seções 4.1 a 4.4.1) e validar a metodologia (capítulo **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) para a tomada de decisão final.

As tomadas de decisão foram realizadas entre os dias 05/11/2024 e 12/11/2024, momento em que os(as) tomadores(as) de decisão puderam avaliar as alternativas propostas e compor a escolha da melhor categoria de alternativas. Por fim, a alternativa escolhida foi aprovada no dia 26/11/2024 pelo setor de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa parceira, tornando possível o início da análise aprofundada da solução. Tais etapas tiveram como resultado o apresentado nas seções 4.4.2 a 4.6. Para que o processo de tomada de decisão fosse realizado de forma imparcial e objetiva, utilizou-se o método *Fuzzy-TOPSIS*, explicado na seção 0. A Figura 20 resume as etapas da tomada de decisão.

**Figura 20 - Etapas da tomada de decisão**



Fonte: Autor (2024)

### 3.5.1 *Brainstorming* de critérios

A definição inicial dos critérios foi baseada na rodada-teste. Nessa rodada, foi realizado um *brainstorming* completo para geração e evolução de critérios para o julgamento das alternativas. Em seguida, realizaram-se composições, desmembramentos e exclusões de comum acordo a fim de reduzir o número de critérios que seriam levados para o julgamento com os membros da empresa. Os representantes da empresa parceira tiveram espaço para ajustar/manter os critérios, considerando as particularidades, prioridades e organização do negócio.

### 3.5.2 Julgamento de critérios e alternativas

O julgamento dos critérios e das alternativas foi feito com base em termos linguísticos pré-definidos conforme preconizado pela Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* no método TOPSIS. Para os critérios, os termos utilizados variaram conforme sua importância na tomada de decisão (“Não Importante” a “Muito Importante”). Já para as alternativas, de acordo com o desempenho que cada uma possui no critério em questão (“Muito Ruim” a “Muito Bom”). As traduções dos termos para critérios e alternativas em números *fuzzy* seguiram as mesmas definidas pela Tabela 4. Da mesma forma, as funções de pertinência relativas a cada classificação foram as representadas pela Figura 15.

As tomadas de decisão foram feitas internamente por cada setor, que geraram um vetor de pesos e uma matriz de decisão cada. A partir delas, uma matriz de decisão final foi construída dando peso 2 para o setor de Produtos e peso 1 para os setores de Suprimentos e de Orçamento. Essa ponderação foi baseada numa decisão em conjunto dos representantes da empresa parceira. O tratamento dos dados coletados na matriz de decisão e no vetor de pesos deu-se através do descrito na seção 0.

### 3.5.3 Ranqueamento final

Conforme Hwang e Yoon (1981) e Chen (2000), o ranqueamento é dado pela ordem decrescente de coeficiente de aproximação. Para tanto, sabe-se também que os métodos multicritério de tomada de decisão são ferramentas que auxiliam a avaliação final. Portanto, a decisão foi tomada pelos representantes da empresa parceira, embasados pelo ranqueamento desenvolvido. Com a categoria selecionada pela empresa, partiu-se para o estudo aprofundado da alternativa selecionada.

## 3.6 ANÁLISE DA SOLUÇÃO FINAL

A categoria selecionada foi analisada com as informações disponíveis na literatura, no contato com profissionais que executam o serviço e na *web*. A partir da consolidação desses dados, foi possível estimar a produção, elaborar o Diagrama de Ishikawa e construir a Matriz SWOT da alternativa definida pelo *Fuzzy-TOPSIS*. Os resultados foram comparados com o método tradicional a fim de auxiliar na definição dos próximos passos da empresa parceira.

Foi realizado contato com profissionais dos canais do YouTube que serviram de base para conhecimentos da execução do serviço. A partir de uma apresentação objetiva sobre a pesquisa, foi questionado qual era a média de produção que possuíam, baseando-se em suas experiências próprias. Informações foram enviadas a fim de facilitar a compreensão do *layout* estudado, tais como: (i) o tipo da obra; (ii) as áreas dos ambientes a serem revestidos; (iii) a média de unidades por empreendimento. As perguntas giraram em torno da quantidade de metros quadrados

poderiam ser feitos em um determinado período e do tempo de execução de cada etapa.

A análise quantitativa realizada foi feita apenas pela estimativa da produção dos serviços de piso, assim como na futura otimização do processo tradicional. Sendo assim, estimou-se a produção em  $h/m^2$  a partir das informações coletadas. Já a análise qualitativa foi realizada por completo, nos moldes da feita no estado atual do processo: elaboração do Diagrama de Ishikawa e da Matriz SWOT.

### 3.7 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO TRADICIONAL

A fim de considerar uma solução menos disruptiva para os problemas apresentados na pesquisa, também foi proposta a otimização do processo tradicional de revestimento cerâmico. Assim como no levantamento de alternativas, as possibilidades de mudança iniciaram-se a partir das reflexões sobre os gargalos vistos em campo. Iniciou-se, então, a identificação de estratégias e ferramentas mais eficientes para o processo de assentamento de placas cerâmicas. A procura foi realizada em sites de fornecedores, na literatura e na visita à Expo Revestir.

Também foi realizado um estudo de coordenação modular para o projeto da edificação. Coordenação modular é uma teoria fundamentada no planejamento dimensional da edificação a partir de um ou mais módulos básicos que se repetem ao longo do projeto evitando dimensões fracionadas (ABDI, 2008; ABNT, 2024). O estudo de paginação/modulação baseou-se em três cenários: (i) Proposta atual: paginação de revestimentos cerâmicos originalmente utilizada pela construtora em banheiros e cozinhas, com peças no formato de 45 x 45 cm; (ii) Proposta de melhoria 1: substituição das peças de 45 x 45 cm por peças de 40 x 40 cm, mantendo as dimensões originais dos cômodos; (iii) Proposta de melhoria 2: alterações nas dimensões dos cômodos para que fossem compatíveis com o tamanho das peças de 45 x 45 cm.

Para cada cenário, foi analisado o tempo de execução e a quantidade de resíduos gerados em cada um deles. O tempo de execução foi calculado a partir do MFV do

estado atual. De posse desses valores, extrapolou-se a economia de tempo para a produção da mão de obra, buscando entender os impactos numa escala mais ampla.

## 4 RESULTADOS

O cumprimento da metodologia presente na Figura 16 tornou capaz a apresentação dos resultados a seguir: o relatório das visitas técnicas às obras da empresa parceira; o estado atual do processo; as alternativas levantadas para substituição do sistema atual; a ordenação das alternativas; o detalhamento da solução escolhida; e a otimização do processo atual.

### 4.1 RELATÓRIO DAS VISITAS TÉCNICAS

Os registros das visitas técnicas junto às especificações técnicas e aos procedimentos executivos fornecidos pela empresa parceira resultaram no relatório da execução atual. As etapas do processo de revestimento de paredes iniciam-se após os serviços de “pós-forma”, em que se reparam as irregularidades da superfície de concreto das paredes já desformadas e curadas, as quais servirão de substrato para as placas cerâmicas. Essa atividade não foi vista pela equipe do projeto.

Antes do processo de revestimento ser iniciado, cada unidade recebe a quantidade exata de materiais necessários para o assentamento. Sendo assim, se ocorrerem perdas (ex. corte errado), o empreiteiro precisará solicitar mais materiais ao almoxarifado, o que é rigorosamente registrado. A empresa possui rastreabilidade de todos os componentes utilizados em cada unidade habitacional. As etapas da execução de revestimentos de paredes e pisos são apresentadas pelas Figura 21 e Figura 22, respectivamente. Os passos destacados em azul foram aqueles observados durante as visitas e que serviram como base para o MFV do estado atual. As imagens são meramente ilustrativas e foram obtidas na plataforma Canva, uma ferramenta gratuita de design gráfico online.

**Figura 21 - Etapas do processo de revestimentos de paredes**



Fonte: Autor (2024)

**Figura 22 - Etapas do processo de revestimentos de pisos**



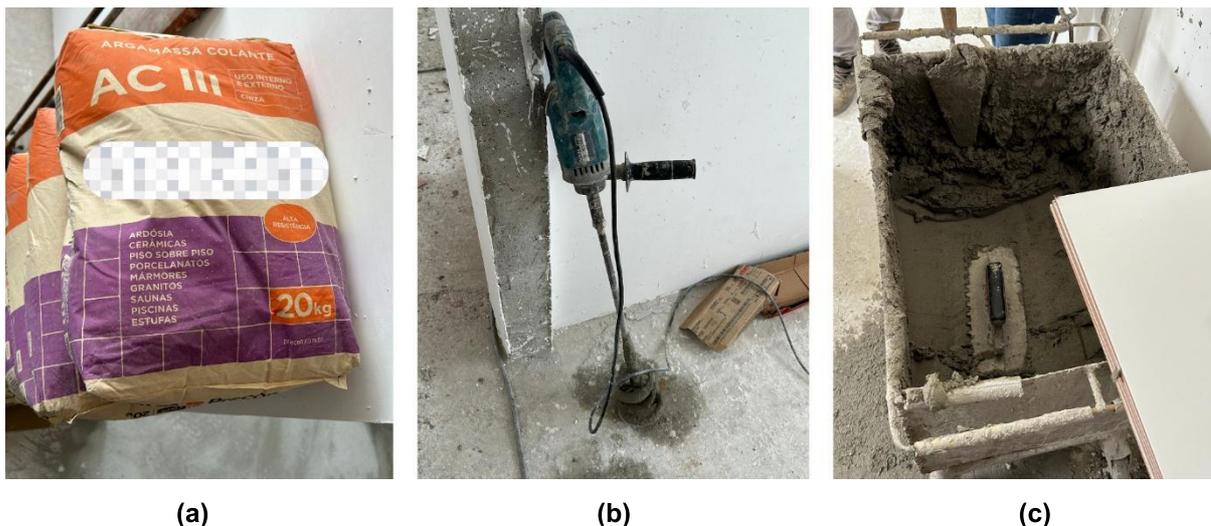
Fonte: Autor (2024)

Ressalta-se que quase todas as etapas dos processos de revestimento no piso e na parede ocorrerem de maneira similar. Eles diferenciam-se apenas em dois pontos principais: (i) argamassa colante AC III para paredes e AC II para pisos; (ii) a etapa de instalação das cantoneiras nas paredes é substituída pela proteção dos pisos.

Sendo assim, o primeiro passo observado foi a preparação da argamassa de colagem que, de acordo com o fabricante, precisa de 2 minutos de mistura e 10 minutos de descanso para ativação. O tempo máximo de aplicação é de 2 horas, antes

de iniciar a pega dos ligantes da argamassa. A Figura 23 apresenta (a) um pacote de argamassa colante, (b) o misturador elétrico e (c) o recipiente de preparo com argamassa recém misturada.

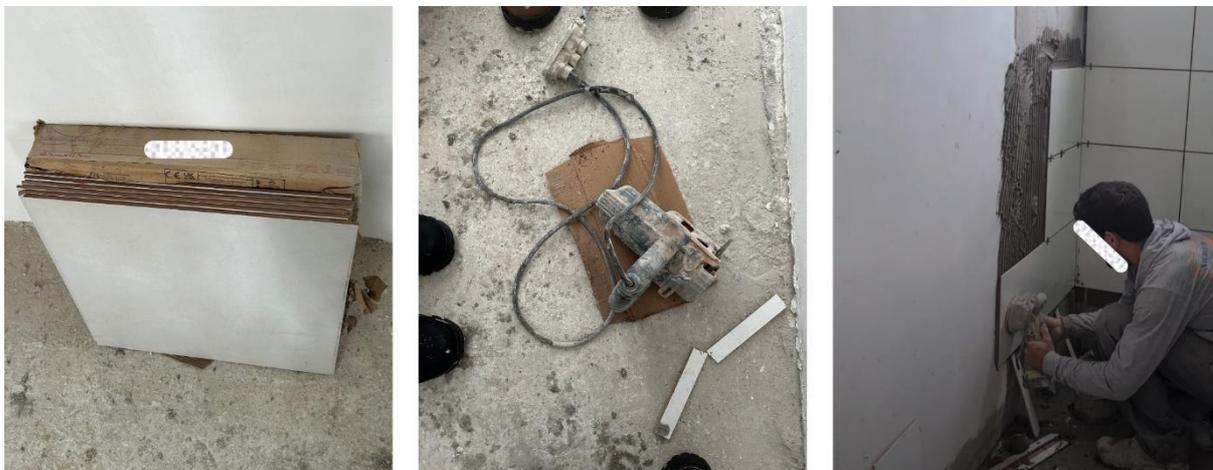
**Figura 23 - (a) Pacote de argamassa colante, (b) misturador elétrico e (c) argamassa preparada**



Fonte: Autor (2024)

Em seguida, registrou-se o assentamento por dupla colagem com desempenadeira lisa para a peça e dentada para o substrato. Em alguns casos, como esperado para este sistema construtivo, havia a necessidade de cortes das peças a fim de atender as dimensões do ambiente e de contornar registros, louças e bancadas. Para a expulsão do ar entre a argamassa e a peça, usou-se martelo de borracha ou vibrador, a depender do empreiteiro (dado que os equipamentos são fornecidos pelo próprio). A Figura 24 apresenta (a) um pacote de placas cerâmicas, (b) a máquina de corte e (c) o assentamento das peças na parede de um banheiro. Observa-se o vibrador sendo utilizado.

**Figura 24 - (a) Pacote de placa cerâmica, (b) máquina de corte e (c) assentamento de peça na parede com vibrador**



(a)

(b)

(c)

Fonte: Autor (2024)

Concomitantemente, o nivelamento foi feito por niveladores do tipo “cunha” e a formação das juntas plásticas por espaçadores do tipo “cruzeta”. A Figura 25 apresenta (a) a colação dos niveladores tipo “cunha” e (b) os espaçadores tipo “cruzeta”.

**Figura 25 - (a) Niveladores tipo "cunha" nos pisos e (b) espaçadores tipo "cruzeta" nas paredes**



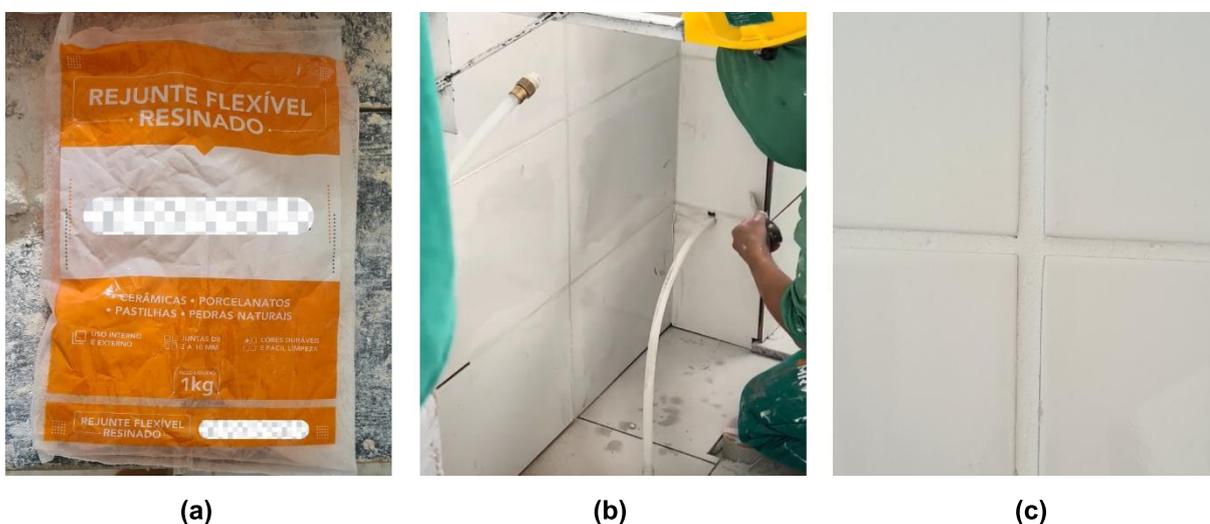
(a)

(b)

Fonte: Autor (2024)

Por fim, após ao menos 72 horas conforme o fabricante da argamassa, inicia-se o rejuntamento com rejunte flexível tipo II. Segundo o fabricante, o tempo de ativação do rejunte é de 15 minutos e o tempo máximo de aplicação também é de 2 horas. A limpeza das sobras nas placas ocorre após 15 a 30 minutos a aplicação para não comprometer o serviço. A Figura 26 apresenta (a) um pacote de rejunte flexível, (b) o rejuntamento de placas cerâmicas e (c) uma junta elástica após a aplicação.

**Figura 26 - (a) Pacote de rejunte flexível, (b) rejuntamento de placa cerâmica e (c) junta elástica após o serviço**



Fonte: Autor (2024)

## 4.2 DIAGNÓSTICO DO PROCESSO ATUAL

### 4.2.1 MFV do sistema de revestimento cerâmico

A cronometragem realizada com os registros em vídeo e os dados coletados nas fichas técnicas dos fabricantes embasaram o cálculo do tempo de ciclo ( $T/C$ ) das etapas observadas nas visitas técnicas. Etapas como a criação e limpeza das juntas elásticas, a conferência da aderência das peças, a colocação das cantoneiras nas paredes e proteção nos pisos e a conferência final dos serviços não foram observadas/registradas. Sendo assim, em consonância com o relatório apresentado na seção anterior, apenas as etapas de preparação da argamassa colante, assentamento das placas cerâmicas, nivelamento das peças, preparação do rejunte

flexível e rejuntamento das juntas elásticas compuseram o MFV do estado atual do processo. Logo, foram construídas duas tabelas de cálculo dos  $T/C$  referente ao processo de revestimento de banheiros e cozinhas considerando as peças inteiras e cortadas: a Tabela 14 referente ao serviço realizado em paredes e a Tabela 15 referente ao serviço em pisos.

**Tabela 14 -  $T/C$  (min/m<sup>2</sup>) das etapas do processo de revestimento de paredes**

<b>Etapa observada em campo</b>	<b><math>T/C</math> – Peças inteiras (min/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>T/C</math> – Peças com corte (min/m<sup>2</sup>)</b>
Preparação da argamassa colante	5,80	5,80
Assentamento das placas cerâmicas	9,86	22,36
Nivelamento das peças	3,06	3,06
Limpeza dos cantos e juntas	–	–
Aplicação de PU nas juntas	–	–
Preparação do rejunte flexível	2,55	2,55
Rejuntamento das juntas elásticas	9,03	9,03
Conferência da aderência	–	–
Instalação das cantoneiras	–	–
Conferência final dos serviços	–	–
<b>Tempo parcial observado</b>	<b>30,29</b>	<b>42,79</b>

Fonte: Autor (2024)

**Tabela 15 -  $T/C$  (min/m<sup>2</sup>) das etapas do processo de revestimento de pisos**

<b>Etapa observada em campo</b>	<b><math>T/C</math> – Peças inteiras (min/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>T/C</math> – Peças com corte (min/m<sup>2</sup>)</b>
Preparação da argamassa colante	5,80	5,80
Assentamento das placas cerâmicas	5,84	13,25
Nivelamento das peças	1,81	1,81
Limpeza dos cantos e juntas	–	–
Aplicação de PU nas juntas	–	–
Preparação do rejunte flexível	2,92	2,92
Rejuntamento das juntas elásticas	5,35	5,35
Conferência da aderência	–	–
Proteção dos pisos	–	–
Conferência final dos serviços	–	–
<b>Tempo parcial observado</b>	<b>21,72</b>	<b>29,13</b>

Fonte: Autor (2024)

A partir dos dados acima e do levantamento da quantidade de cada serviço por unidade habitacional, pôde-se determinar o tempo de execução das paredes e pisos de um apartamento. Adicionando-se os tempos de espera obrigatórios (assumindo-se que são respeitados), obteve-se os tempos totais dos serviços. A Tabela 16 apresenta as quantidades em m<sup>2</sup> de parede e piso de banheiro e cozinha por apartamento e a Tabela 17 o tempo total de execução. Por fim, a Tabela 18 e a Tabela 19 descrevem os tempos totais dos serviços de paredes e pisos, respectivamente.

**Tabela 16 - Área levantada de revestimento cerâmico no *layout* estudado**

Área revestida (m <sup>2</sup> )	Banheiro		Cozinha	
	Parede	Piso	Parede	Piso
Peças inteiras	6,24	1,22	3,60	4,86
Peças com corte	2,85	1,15	2,55	1,41
<b>Total</b>	<b>9,09</b>	<b>2,36</b>	<b>6,15</b>	<b>6,27</b>

Fonte: Autor (2024)

**Tabela 17 - Tempo de execução do revestimento cerâmico no *layout* estudado**

Tempo de execução (min)	Banheiro		Cozinha	
	Parede	Piso	Parede	Piso
Peças inteiras	189,03	26,39	109,06	105,58
Peças com corte	121,96	33,35	109,12	41,07
<b>Total</b>	<b>311,00</b>	<b>59,75</b>	<b>218,18</b>	<b>146,65</b>

Fonte: Autor (2024)

**Tabela 18 - Tempo total dos serviços de parede no *layout* estudado**

Tempo de execução (min)	Banheiro			Cozinha			Total das paredes
	Peças inteiras	Peças com corte	Total	Peças inteiras	Peças com corte	Total	
Argamassa	36,19	16,53	52,72	20,88	14,79	35,67	88,39
Assentamento	61,53	63,73	125,26	35,50	57,02	92,52	217,78
Nivelamento	19,07	8,71	27,78	11,00	7,79	18,79	46,57
Rejunte	15,91	7,27	23,18	9,18	6,50	15,68	38,86
Rejuntamento	56,33	25,73	82,06	32,50	23,05	55,52	137,58
<b>Total de execução</b>	<b>189,03</b>	<b>121,96</b>	<b>311,00</b>	<b>109,06</b>	<b>109,12</b>	<b>218,18</b>	<b>529,18</b>
Tempo de espera para rejuntar							4320,00
Tempo de espera para limpeza							15,00
Tempo de espera para trafegar							1440,00
<b>Tempo total (min)</b>							<b>6304,18</b>

Fonte: Autor (2024)

**Tabela 19 - Tempo total dos serviços de piso no *layout* estudado**

Tempo de execução (min)	Banheiro			Cozinha			Total dos pisos
	Peças inteiras	Peças com corte	Total	Peças inteiras	Peças com corte	Total	
Argamassa	7,05	6,64	13,69	28,19	8,18	36,37	50,05
Assentamento	7,10	15,17	22,27	28,40	18,68	47,08	69,36
Nivelamento	2,20	2,07	4,27	8,80	2,55	11,35	15,63
Rejunte	3,55	3,34	6,89	14,19	4,12	18,30	25,19
Rejuntamento	6,50	6,13	12,63	26,00	7,54	33,54	46,17
<b>Total de execução</b>	<b>26,39</b>	<b>33,35</b>	<b>59,75</b>	<b>105,58</b>	<b>41,07</b>	<b>146,65</b>	<b>206,40</b>
Tempo de espera para rejuntar							4320,00
Tempo de espera para limpeza							15,00
Tempo de espera para trafegar							1440,00
<b>Tempo total (min)</b>							<b>5981,40</b>

Fonte: Autor (2024)

Por fim, foi possível calcular os estoques necessários por etapa, e consequentemente o estoque total para cada apartamento que segue o *layout* padrão, baseando-se no consumo por metro quadrado das fichas técnicas dos fabricantes. A Tabela 20 apresenta as quantidades de cada insumo por serviço e ambiente, assim como as quantidades totais de pacotes a serem adquiridos para cada unidade do *layout* estudado. A quantidade final de aquisição de insumos dá-se em pacotes fechados. Entretanto, a tabela abaixo utilizou números decimais porque os valores são referentes a um apartamento e entende-se que a aquisição não é feita nessa quantidade.

**Tabela 20 - Insumos totais por serviço e ambiente do *layout* estudado**

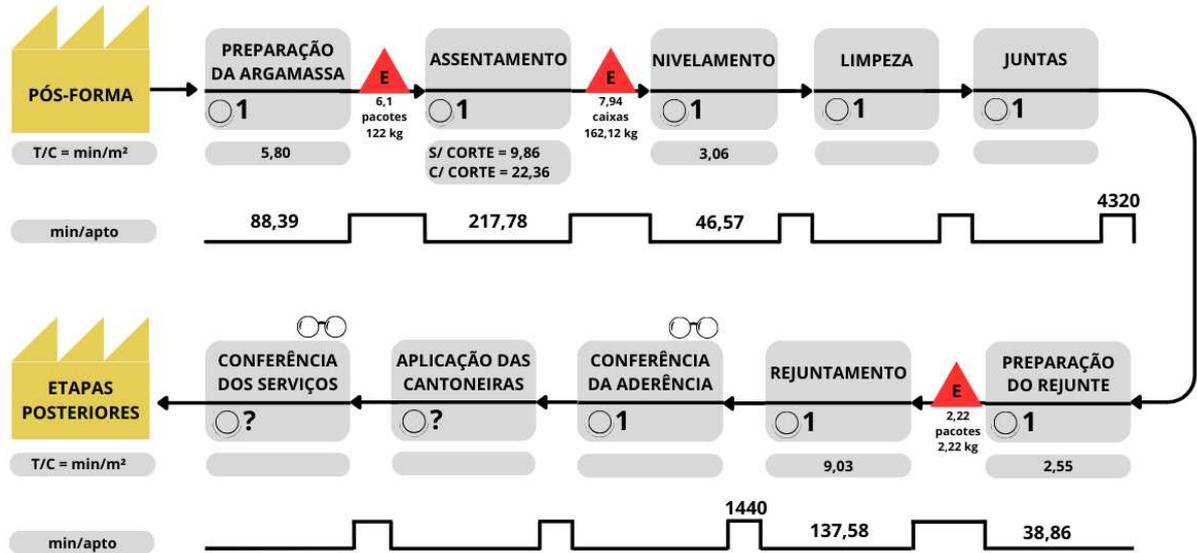
Insumo	Banheiro		Cozinha		Total
	Parede	Piso	Parede	Piso	
Argamassa AC III (pacotes de 20 kg)	3,64	-	2,46	-	6,10
Argamassa AC II (pacotes de 20 kg)	-	0,94	-	2,51	3,45
Cerâmica 30x40 (caixas com 16 peças)	4,73	-	3,20	-	7,94
Cerâmica 45x45 (caixas com 12 peças)	-	0,97	-	2,58	3,55
Rejunte flexível (pacotes de 1 kg)	1,32	0,39	0,89	1,04	3,65

Fonte: Autor (2024)

Por fim, com todas essas informações, foram elaborados dois MFV: um para paredes e outro para pisos. A fim de identificar o tempo de execução total de

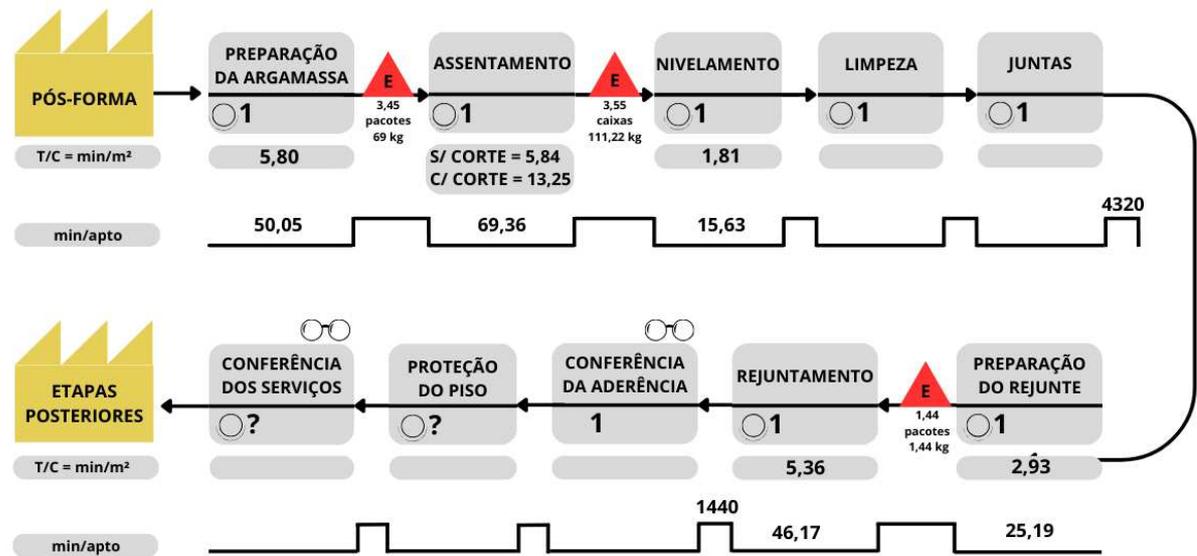
revestimento cerâmico de um apartamento, criou-se a linha do tempo na parte inferior do mapa. A Figura 27 e a Figura 28 representam o MFV do revestimento de paredes e pisos, respectivamente, apontando o grande número de atividades que o sistema exige. A simbologia está de acordo com a Figura 2.

**Figura 27 - MFV do processo de revestimento de paredes**



Fonte: Autor (2024)

**Figura 28 - MFV do processo de revestimento de pisos**



Fonte: Autor (2024)

A empresa parceira também forneceu o resumo da quantidade de serviços de revestimento cerâmico entre os dias 30/11/2023 e 21/10/2024 (227 dias úteis). O relatório totaliza 12102,42 m<sup>2</sup> de cerâmica assentada nesse período. Considerando que a atividade foi realizada por 8 horas diárias, tem-se o tempo total de 1816 horas. O cálculo chega à produção de 0,15 h/m<sup>2</sup> (9 min/m<sup>2</sup>).

## **4.2.2 Gargalos, limitações e desafios do sistema de revestimento cerâmico**

### *4.2.2.1 Observações durante as visitas técnicas*

Durante as visitas técnicas, a equipe do projeto pôde observar alguns gargalos nos serviços presenciados. Destaca-se, portanto, os principais desafios encontrados em cada etapa registrada.

- Preparação da argamassa:
  - alto tempo total de preparo da argamassa, apesar dos tempos de mistura e ativação não terem sido respeitados em todos os momentos que a equipe do projeto pôde acompanhar a etapa;
  - variação dos fornecedores da argamassa, visto que não existe uma padronização do serviço quanto às exigências de cada marca.
- Assentamento:
  - cortes das peças, visto que o tempo gasto com as marcações e os cortes propriamente ditos aumentam o tempo de execução;
  - diferentes ferramentas utilizadas para assentamento, a depender do empreiteiro, variando a forma e o tempo em que o método de esmagamento dos cordões ocorre;
  - variação da produtividade devido à prática individual de cada profissional, o que compromete a agilidade do serviço;
  - projeto de paginação da empresa para aquele modelo de unidade habitacional, que eleva o número os cortes e produz um desperdício muito elevado.

- Nivelamento:
  - tempo de execução da etapa, que é realizada manualmente, peça por peça.
- Preparação e aplicação do rejunte:
  - falhas no serviço, devido a erros de limpeza das juntas e no próprio rejuntamento, os quais levariam a correções posteriores;
  - tempos de espera e de execução elevados para limpeza antes e depois da aplicação;
  - falta de ergonomia do profissional, que muitas vezes diminui a produtividade do serviço devido à posição de trabalho.

#### 4.2.2.2 Observações durante as entrevistas na obra

Ainda nas visitas técnicas foram realizadas entrevistas espontâneas com encarregados, engenheiros(as) residentes, estagiários(as) e empreiteiros. A partir delas, outros gargalos que interferem na qualidade e no andamento do processo de revestimento foram destacados. Alguns pontos de atenção observados pela equipe do projeto também podem contribuir para a baixa produtividade e os gargalos desse sistema.

- Relatos dos profissionais entrevistados:
  - dependência de atividades predecessoras, principalmente as de pós-forma das paredes de concreto;
  - alta rotatividade de mão de obra;
  - grandes índices de perdas, próximos a 30% em alguns modelos de unidades habitacionais;
  - pós-obra, o qual ainda gera muitos retrabalhos devido a erros de execução que perduram na entrega do empreendimento.
- Destaques da equipe do projeto:
  - cômodos não modulares, o que impede uma paginação única;
  - tamanho das cerâmicas não compatível com as dimensões dos ambientes, levando a muitas necessidades de recorte;

- diferenças entre os tamanhos de cada unidade habitacional na ordem de alguns centímetros, mesmo com o serviço de pós-forma;
- mão de obra terceirizada, o que torna a empresa dependente da qualidade e da disponibilidade dos assentadores locais.

Todos os gargalos destacados nas duas últimas seções alinham-se e complementam os estudos de Avelino *et al.* (2018), que haviam mencionado como principais desafios: retrabalhos, pausas para replanejamento, participação de auxiliares nas atividades, excesso de cortes em áreas de difícil execução e deslocamentos devido à má distribuição dos materiais.

#### 4.2.2.3 Observações durante a elaboração do MFV

Com os cálculos apresentados na seção 4.2 e a elaboração dos MFV presentes na Figura 27 e na Figura 28, foi possível confirmar os gargalos observados e realizar análises específicas desses resultados.

- Comparação dos  $T/C$  das etapas sem e com corte em paredes (Tabela 14) e em pisos (Tabela 15):
  - diferença no tempo da etapa de assentamento, que obviamente ocorre devido aos cortes realizados, aumentando a execução em torno de 127%;
  - numa perspectiva mais geral, os cortes aumentam o tempo total de execução do processo das paredes em cerca de 41% e dos pisos perto de 34%.
- Comparação dos  $T/C$  dos processos em paredes e em pisos entre si (Tabela 14 e Tabela 15):
  - todos os tempos são diferentes, exceto na preparação da argamassa;
  - maior índice de produtividade no revestimento dos pisos do que das paredes – provavelmente devido às diferentes dimensões das placas para cada serviço, e possivelmente a ergonomia do operário.

Apesar do cálculo ser realizado por  $m^2$ , os consumos dos insumos são diferentes: o número de peças exigidas para cobrir  $1 m^2$  de parede é maior do que o para cobrir

1 m<sup>2</sup> de piso (o que também aumenta a quantidade de juntas por m<sup>2</sup> entre elas); sendo assim, o tempo para aplicar a argamassa nas peças das paredes (e posicioná-las quanto à planicidade da superfície) é maior, assim como a quantidade de rejunte a ser preparado e o tempo de rejuntamento.

- Comparação dos tempos totais de execução (Tabela 18 e Tabela 19):
  - tempo médio de execução de um banheiro é de 371 minutos e de uma cozinha é 365 minutos, tempos próximos ao serem comparados entre si;
  - em termos de produtividade, a execução do banheiro é realizada em 32,38 min/m<sup>2</sup> e a cozinha em 29,37 min/m<sup>2</sup>;
  - considerando os tempos de espera, o tempo total do serviço no banheiro é 323 minutos maior do que o da cozinha.

Tais conclusões podem ser justificadas pelo maior número de registros, louças e bancadas no banheiro, o que aumenta significativamente a quantidade de cortes e de juntas. Destaca-se que o fato está relacionado com os maiores gargalos do serviço: assentamento e rejuntamento. A menor área de serviço no banheiro potencialmente também atrasa o processo, visto que o trabalho do operário é dificultado quando sua ergonomia é afetada.

- Análise dos insumos totais por etapa e ambiente (Tabela 20):
  - estimativa de carga de insumos por unidade habitacional é de 467,95 kg/UH; tal informação é relevante para atividades de transporte e estocagem.

Com a elaboração dos MFV do estado atual, confirmou-se que as etapas que demandam maiores tempos de execução das paredes de um apartamento são as de assentamento e de rejuntamento das peças, indo de acordo com os maiores tempos de ciclo. A preparação da argamassa também se destaca. Na execução de pisos, as três etapas também são as mais demoradas, entretanto com maior equilíbrio entre elas. Também há uma inversão na ordem, com a etapa de preparação da argamassa mais longa que a de rejuntamento. Em relação aos tempos de espera, a preparação do rejunte (e o rejuntamento) são as que mais demandam em ambos os processos. Destaca-se, também, a grande quantidade de peso que o processo envolve.

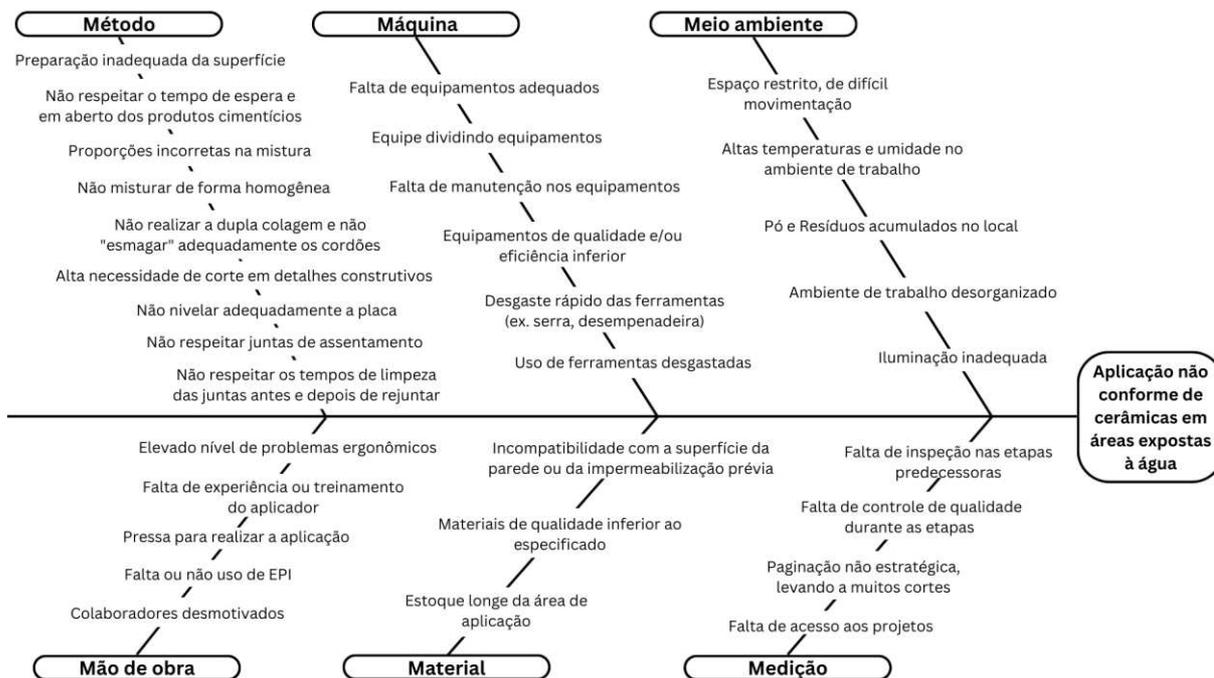
Tais resultados vão de encontro com o trabalho de Ferreira *et al.* (2016), no qual identificaram o assentamento das peças como a etapa com maior  $T/C$  (19 min 34 s/ $m^2$ ) e maior tempo de execução (18,85 dias para execução de 1.524,48  $m^2$  em um pavimento residencial). Os autores também destacaram a alta carga de insumos, totalizando 247,50 pacotes de argamassa colante e 1037,76  $m^2$  de placas cerâmicas. Sendo assim, pode-se afirmar que os resultados apresentados na presente pesquisa são similares a dados presentes na literatura.

Ressaltam-se pontos relevantes que não puderam ser analisados pela atual metodologia: (i) falhas durante o processo, o que afeta a qualidade final do serviço prestado; (ii) geração de resíduos e poeira no canteiro de obras; (iii) reclamações de usuários no pós-obra. Contudo, Freitas (2023) já analisou a gestão da qualidade em relação a existência de problemas pós-ocupação em edifícios residenciais e concluiu que a indústria da construção civil deve centralizar-se na satisfação do cliente. A autora afirma que a adaptação dos projetos e a comunicação eficaz garantem a satisfação dos usuários quando se aliam a produtos e serviços de qualidade. Já no contexto específico da execução de revestimentos cerâmicos, Fonseca (2023) analisou as recorrentes perdas por *making-do* (improvisação) através de metodologias de controle de qualidade e produção. Os resultados da autora demonstraram que as perdas poderiam ter sido evitadas através do cumprimento das exigências solicitadas nos procedimentos padrão de execução e do controle assíduo de qualidade e mão de obra.

#### **4.2.3 Diagrama de Ishikawa do sistema de revestimento cerâmico**

Elaborou-se o Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito) para identificar as possíveis causas raízes dos problemas desse sistema, compondo uma análise riscos presentes. A Figura 29 apresenta o Diagrama em relação à aplicação não conforme de revestimentos cerâmicos em áreas expostas à água.

**Figura 29 - Diagrama de Ishikawa para revestimentos cerâmicos**



Fonte: Autor (2025)

Nota-se que a categoria “método” concentra a maioria das causas, muito devido às várias etapas e recursos envolvidos no serviço. Essa longa e variada sequência executiva se mantém como a principal desvantagem desse sistema de execução. Além disso, a baixa qualificação profissional, as diferentes ferramentas necessárias no serviço e o grande potencial para problemas ergonômicos comprometem a qualidade da aplicação, como detalhado nas categorias “mão de obra” e “máquinas”. Os riscos relacionados ao planejamento da atividade, categoria “medição”, se manifestam principalmente através de falhas no controle de qualidade das etapas anteriores e durante o assentamento cerâmico. Destaca-se aqui também a questão da paginação, que, se mal pensada, pode aumentar drasticamente a necessidade de cortes. Na categoria “materiais”, se destacam os riscos relacionados aquisição de suprimentos, com nível de qualidade inferior ao recomendado e incompatíveis com os tipos construtivos. Por fim, na categoria “meio ambiente”, os riscos estão voltados à falta de um ambiente adequado para realização do serviço, o qual precisa ter espaço, iluminação, limpeza e organização suficientes.

França e Lins (2021), com foco nas falhas de descolamento cerâmico, e Silva (2021), no mapeamento do processo de revestimento, desenvolveram diagramas muito semelhantes. Diversos pontos que compõem o resultado apresentado na Figura 29 tiveram os trabalhos das autoras como referência. Vê-se o diagrama da presente pesquisa como um complemento dos já presentes na literatura, contemplando causas mais abrangentes devido à análise mais aprofundada do processo.

#### **4.2.4 Matriz SWOT do sistema de revestimento cerâmico**

O levantamento de ideias realizado pela equipe de pesquisa culminou na Matriz SWOT apresentada na Figura 30, feita com base nas características observadas nas visitas técnicas. Como forças do sistema, já é compreendido que as placas cerâmicas são altamente duráveis às demandas do cotidiano, sejam mecânicas (tráfego e peso das louças e metais), sejam químicas (contato com cosméticos e produtos de limpeza), o que determina a tradição na sua utilização. Além disso, não há exigência de qualificações além do que é comumente esperado dos operários na instalação, visto que já é um processo consolidado há séculos.

**Figura 30 - Matriz SWOT para revestimentos cerâmicos**



Fonte: Autor (2025)

Por outro lado, as fraquezas vão de encontro aos gargalos encontrados na análise quantitativa, como o alto tempo de execução e a grande massa e variabilidade de insumos utilizados. A quantidade de resíduos gerada se deve à grande perda de material durante a aplicação, o que se soma ao alto impacto ambiental durante todo o processo de fabricação tanto das placas cerâmicas, quanto da argamassa colante. Outro ponto negativo é a manutenção pós-entrega, que exige a remoção do revestimento antigo (com poucas chances de reaproveitamento) e a repetição de praticamente todo o processo de execução.

Dentre as áreas de necessidade que possuem potencial de serem atendidas destacam-se a possível implementação de inovações tecnológicas, tanto as em estudo na academia quanto as (muitas vezes já) produzidas pela indústria. Além disso, existe a possibilidade de integrar o sistema com outras tecnologias modernas já consolidadas no mercado. A certificação ambiental de certos fornecedores é uma oportunidade de driblar certos impactos, recuperando parte do mercado perdido por esse motivo. A existência de normas brasileiras que regulamentam todas as etapas

do processo também é um facilitador que o ambiente externo propõe, além da aprovação dos órgãos financiadores de obras como a Caixa Econômica Federal. Por outro lado, a gradual aceitação de materiais alternativos pelo público consumidor é um desafio que impacta o sistema negativamente. A alta variabilidade da mão de obra (capacitação variável, muitas faltas e alta rotatividade) e a logística do canteiro (grande quantidade de materiais, de alto peso) também ameaçam o sistema atual.

A literatura não possui bom histórico relacionado a matrizes SWOT para revestimentos cerâmicos, visto que a ferramenta é mais utilizada para planejamento estratégico de negócios. Sendo assim, o resultado acima preenche uma lacuna existente e insere o uso do método na análise de serviços do setor da construção civil.

### 4.3 ALTERNATIVAS LEVANTADAS

Por meio do acompanhamento das atividades em campo e do MFV, foi possível buscar soluções para diminuir os pontos de ineficiência operacional, detectados nos métodos tradicionais de revestimento. A exploração de alternativas alcançou diversas opções com diferentes países de origem, custos, tamanhos, métodos de instalação e locais de aplicação. A categorização por similaridade no método de fixação das alternativas criou sete grupos de soluções, os quais serão posteriormente avaliados e ranqueados. Todas as soluções listadas nas próximas seções possuem indicações/permissão de seus fabricantes para uso em áreas expostas à água.

#### 4.3.1 Revestimentos monolíticos

Substituindo o sistema cerâmico, as soluções monolíticas são aquelas sem juntas. Elas apresentam características de durabilidade e execução rápida se realizada por uma mão de obra especializada. A prática é possível por intermédio de produtos industrializados, como a resina epóxi, endurecedor, primer e pigmentos, apresentados pela Figura 31 (a). Os produtos oferecem uma alternativa fácil de ser encontrada e habitual no contexto brasileiro, que conhece esse sistema pela alcunha “porcelanato líquido” representado pelo exemplo da Figura 31 (b). A instalação é realizada pela criação de uma camada autonivelante com a mistura desses produtos, com as

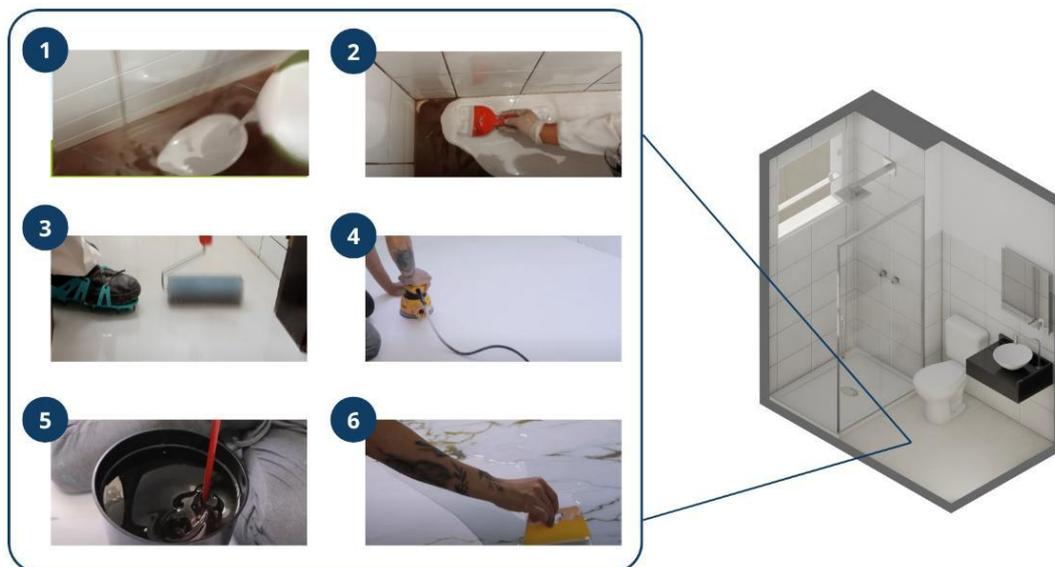
proporções recomendadas por cada fabricante. Por fim, uniformiza-se a superfície ainda líquida através de desempenadeira ou espátula em toda a área de aplicação. A Figura 32 mostra as etapas de aplicação do revestimento monolítico.

**Figura 31 - (a) Componentes do porcelanato líquido e (b) exemplo de aplicação**



Fonte: AG Resinas (2024)

**Figura 32 - Etapas de aplicação do revestimento monolítico**



Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Cipriano (2022) e Redelease (2019); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto

As desvantagens desse sistema são a exigência de mão de obra especializada, a impossibilidade de executar caimentos (dado que é autonivelante) e a dificuldade de

manutenção, já que seria necessário quebrar uma região por inteiro caso ocorra algum problema pontual. O custo também é uma desvantagem em relação ao sistema cerâmico.

#### **4.3.2 Revestimentos pré-fabricados**

Alguns elementos ou sistemas pré-fabricados também são substituições promissoras para o revestimento cerâmico, mesmo que parcialmente: (i) piso box e (ii) *kit* de parede. Ambas as opções podem ser combinadas com outras soluções. Eles têm como principal vantagem a agilidade na instalação (por já virem prontos ou semiprontos). Essas soluções já são amplamente adotadas em outras regiões do mundo e já existem fabricantes brasileiros disponíveis.

O piso box (Figura 33) está disponível em diversas composições (aço esmaltado, fibra de vidro, acrílico e mármore sintético), sendo capaz de ser instalado de diferentes métodos, a variar com o fabricante. No que se refere a instalação a nível do chão (Figura 34), a moldura do piso box é parafusada diretamente no contrapiso. Em seguida, executa-se o assentamento com a argamassa e a vedação com silicone. Existem soluções no mercado que utilizam colas especiais e espumas de poliuretano como selante, a critério do recomendado pelos fornecedores. Já a fixação na parede (Figura 35) é feita através de uma base moldurada parafusada com aplicação de espuma de poliuretano. Como opção, existe a possibilidade de fixação com massa cimentícia seguida pelo fechamento do invólucro da peça como um todo e sua respectiva vedação.

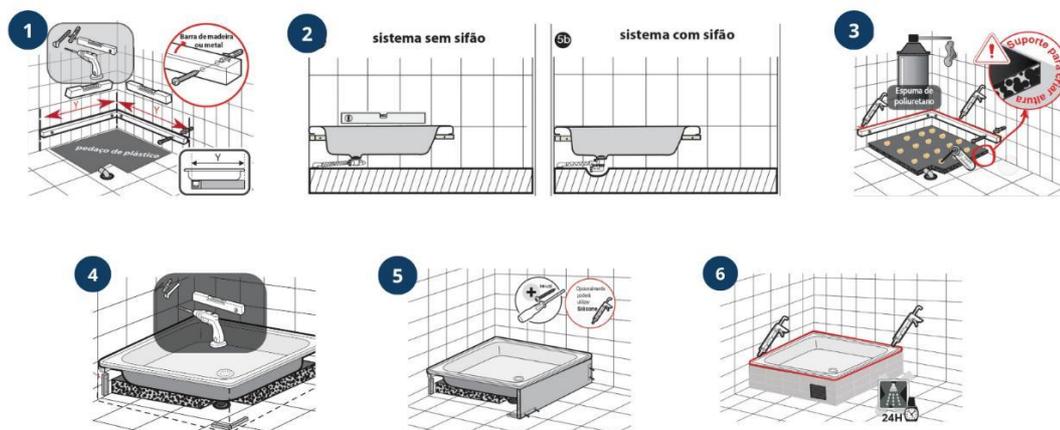
**Figura 33 - Piso box**

Fonte: Celite (2022)

**Figura 34 - Etapas de instalação do piso box no chão**

Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Cardoso Fibras (2021); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto

**Figura 35 - Etapas de instalação do piso box na parede**



Fonte: Roca Brasil (2024)

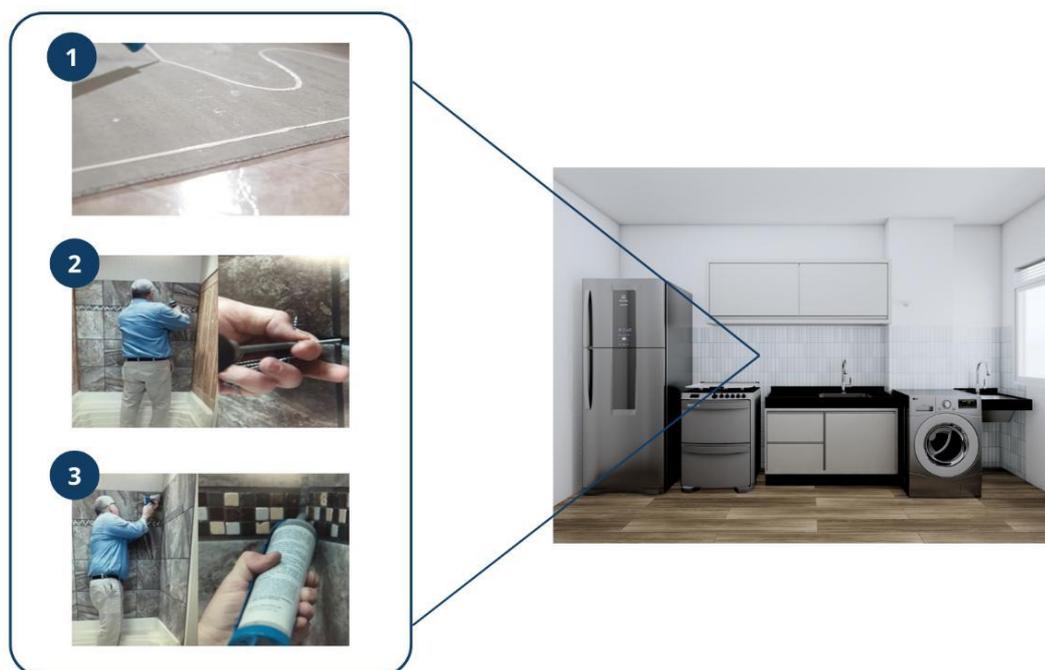
Já o *kit* de parede (Figura 36) é constituído por uma placa de fibrocimento revestida por porcelanato assentado com argamassa e rejuntado com rejunte epóxi. Há vantagem da personalização e agilidade no processo de montagem, que pode ser feita fora da unidade habitacional. A fixação é dada por meio de colas especiais e parafusos em regiões pré-estabelecidas pelo fabricante (Figura 37). A fixação pode ser diretamente na parede de concreto, mas também aderida em chapas ou estruturas de madeira ou aço, comuns em métodos construtivos ágeis.

**Figura 36 - Parede revestida com *kit* de placa revestida e piso box**



Fonte: Baymont Bath (2019)

**Figura 37 - Etapas de instalação do *kit* de parede**



**Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Baymont Bathware (2016); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto**

O custo inicial relativamente mais alto dessas soluções pode ser facilmente mitigado pela sua maior agilidade de instalação. A falta de experiência no contexto brasileiro seria a principal barreira de entrada desse produto no mercado nacional. Outra desvantagem é a maior exigência de planeza e nivelamento de paredes e pisos, já que não será possível “absorver” variações com a argamassa.

### **4.3.3 Soluções modulares**

Outra solução com características ágeis são os banheiros modulares (ou *pods*) que podem ser encontrados em *steel frame* ou concreto armado, com todos os atributos fabricados na indústria e prontos para serem instalados. Esses sistemas são produzidos fora do canteiro de obras com mão de obra especializada e, dessa forma, dispõem-se de maior confiabilidade em relação aos prazos e orçamentos (Honorato, 2022). A Figura 38 mostra um exemplo de banheiro modular.

**Figura 38 - Banheiro modular**

Fonte: CMC Modular (2024)

Como desafios desse sistema, ele exige uma compatibilização entre os *pods*, o projeto arquitetônico e o projeto estrutural (Vargas, 2015). Por exemplo, para estruturas de concreto armado, Amadio (2010) alerta a necessidade de análise prévia da seção das vigas e pilares no trajeto do *pod* do local de içamento até o local de fixação e a posição de entrada do banheiro. Para o caso de paredes de concreto moldado *in loco*, análises similares precisariam ser feitas na distribuição de cargas ao redor do banheiro. Além disso, destaca-se ainda a necessidade de meios de transporte (caminhões e/ou carretas) e de elevação (guindastes e/ou gruas) para o correto posicionamento na obra. Vide Figura 39.

**Figura 39 - Transporte horizontal e vertical dos *pods* até o local de instalação**

Caminhões



Elevador cremalheira



Grua



Grua com  
plataforma fixa

Fonte: Autor (2024) adaptado de Amadio (2010)

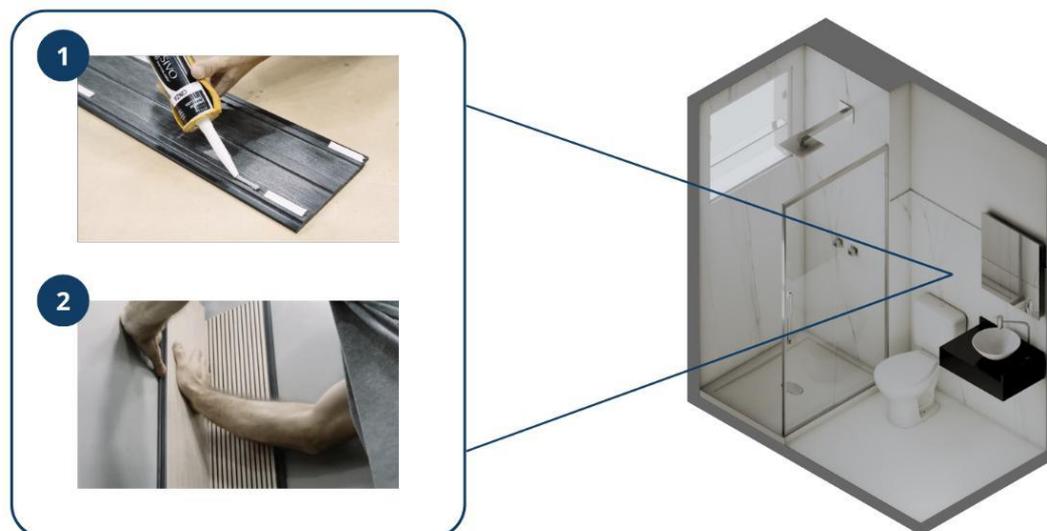
Dentre as desvantagens do sistema destaca-se a necessidade de adaptação dos projetos de forma, a logística de transporte até (e durante) a obra, alto custo de aquisição e aceitação do mercado à inovação. No caso de paredes de concreto moldadas *in loco*, que são autoportantes e estruturais, é preciso definir se será feita uma abertura externa às formas para entrada do *pod*, ou se ele seria posicionado no local de acordo com o calendário de concretagens de cada andar, com cada opção apresentando seus próprios desafios.

#### **4.3.4 Revestimentos de colagem**

Os revestimentos de colagem são opções com ampla quantidade de fornecedores e familiaridade no contexto brasileiro, embora ainda principalmente em áreas secas. Essas soluções apresentam vantagens interessantes, como a leveza das peças, a rápida instalação, o baixo número de etapas e a cura/secagem muito mais rápida do que a argamassa cimentícia.

Essa categoria se divide em três tipos de colagem: (i) fita dupla face; (ii) cola; (iii) adesivo autocolante. No caso da colagem por fita dupla face, é posicionado o selante no verso das placas, que serão pressionadas contra a parede permitindo maior aderência à superfície (Figura 40). Os revestimentos são disponíveis em acrílico e poliestireno.

**Figura 40 - Aplicação de revestimento com colagem por fita dupla face**



**Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Indústria e Comércio de Molduras Santa Luzia LTDA (2024);  
direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto**

Já em relação à colagem por colas especiais, recomenda-se aquelas para áreas molhadas (incluindo a área de dentro do box) como as fabricadas pelas empresas Mapei e Quartzolit. As colas são aplicadas de forma uniforme diretamente na área a ser revestida. Os revestimentos nesse caso são encontrados em borracha, vinílico e fibra de vidro (Figura 41).

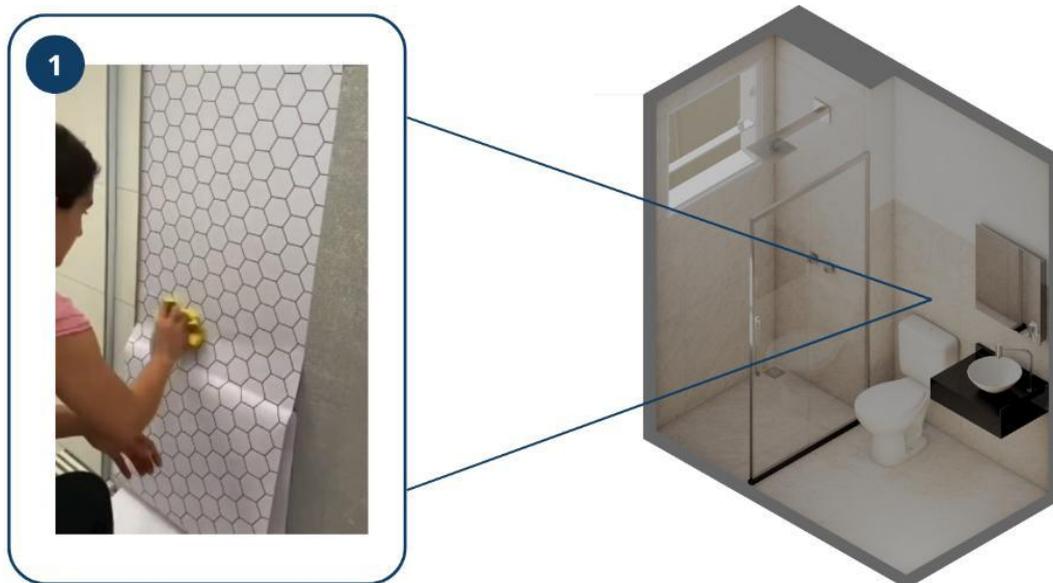
**Figura 41 - Aplicação de revestimento com colagem por cola especial**



**Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Carlos (2021); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto**

Por fim, a colagem por adesivo autocolante é realizada retirando e aplicando diretamente na superfície desejada. Os tradicionais papéis de parede são os revestimentos que utilizam tal sistema de fixação (Figura 42). Este caso se restringe às marcas com produtos específicos para áreas úmidas, porém não recomendados para aplicação no interior do box.

**Figura 42 - Aplicação de revestimento com colagem por adesivo autocolante**



**Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Resolve Decora (2024); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto**

A principal desvantagem desse sistema é a crença disseminada da baixa durabilidade da cola em áreas úmidas, mesmo já existindo soluções específicas para essas áreas à venda no mercado. Entretanto, mesmo que algumas sejam recomendadas para o interior do box por fabricantes, ainda precisam de mais testes a fim de confirmar seu bom desempenho nessa condição. Outro ponto negativo é a necessidade de nivelamento do contrapiso e planeza das paredes, a fim de diminuir as imperfeições visíveis a olho nu.

#### **4.3.5 Revestimentos de encaixe**

Destacam-se, também, as opções de encaixe desenvolvidas para a aplicação rápida de peças leves que reduzem o esforço físico do profissional. Como essas peças geralmente também possuem maior área, a produtividade da instalação é maior do que a de revestimentos cerâmicos (mesmo com a necessidade de cortes ainda). Existem diferentes conexões conforme a área de aplicação, sendo direcionadas para pisos ou paredes. Na maioria das vezes, a instalação é instantânea, por meio de

elementos de encaixe ou parafusos, de modo que o tempo de espera após o assentamento é praticamente eliminado.

Existem variadas composições de materiais no mercado, incluindo poliuretanos e vinis, com iniciativas ecológicas ou não. Os produtos laminados garantem maior resistência a riscos e umidade e diferentes filmes decorativos (Figura 43). Alguns painéis/placas possuem isolamento termoacústico.

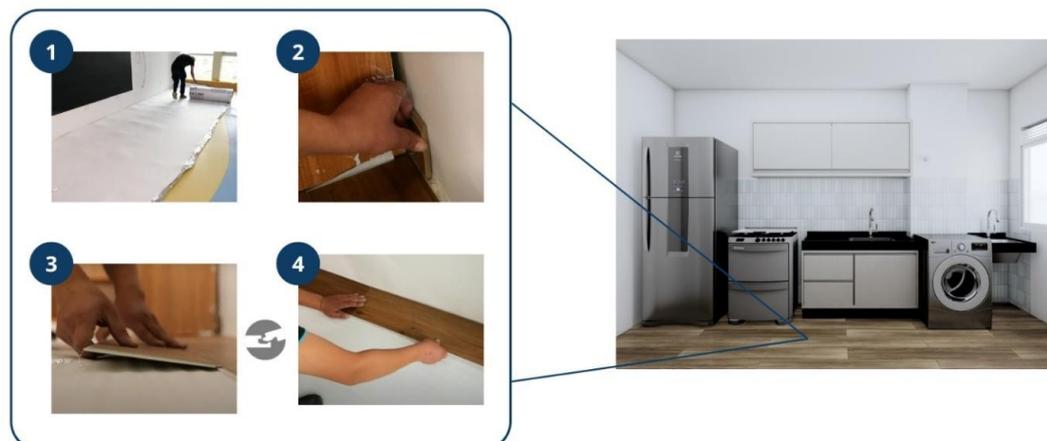
**Figura 43 - Lâminas do revestimento do tipo encaixe**



Fonte: LICO (2024)

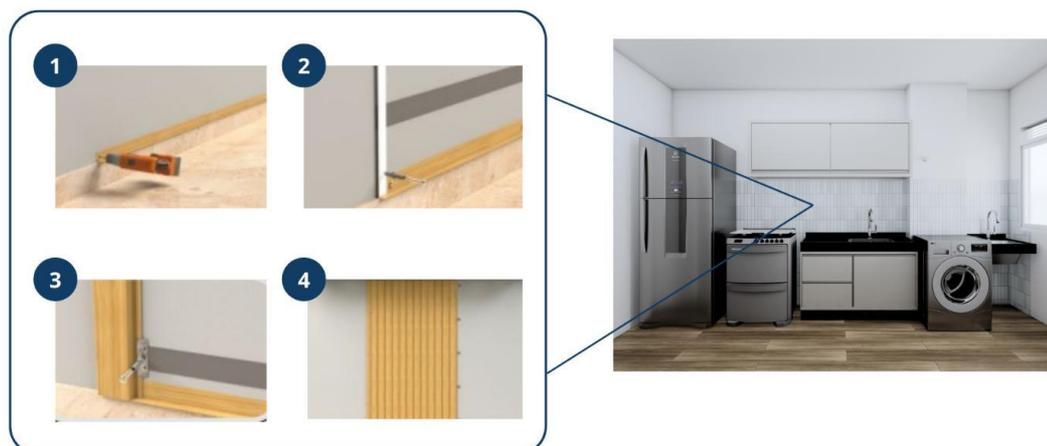
Para a instalação no chão (Figura 44), é recomendado uma camada de polietileno fixada com fitas ou uso de impermeabilizantes no contrapiso a fim de evitar a penetração da água. Em seguida, o encaixe das peças é feito manualmente, geralmente no formato característico macho-fêmea. Já nas paredes (Figura 45), comumente é necessário o emprego de perfis horizontais e laterais, fitas dupla face e estruturas metálicas para o posicionamento do revestimento. O sistema de encaixe entre as placas da parede ocorre por meio de cliques parafusados que possuem três furos, garantindo maior resistência e segurança entre as conexões.

**Figura 44 - Aplicação de revestimento do tipo encaixe no chão**



Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Decno Flooring (2021); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto

**Figura 45 - Aplicação de revestimento do tipo encaixe na parede**



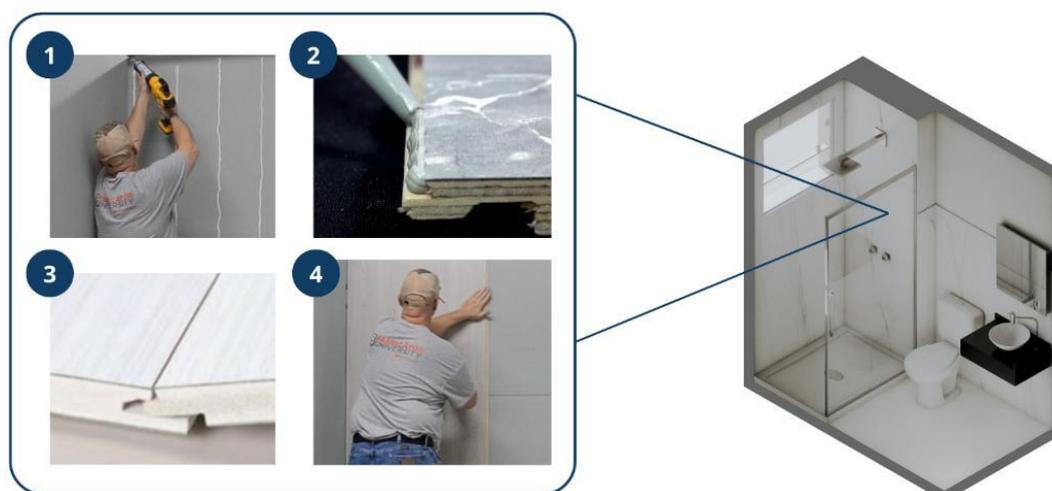
Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Kingspan Isoeste (2024); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto

Dentre as desvantagens da categoria estão a falta de experiência no contexto brasileiro, o custo inicial relativamente mais alto, a necessidade de perfis metálicos nas paredes e a necessidade de nivelamento do contrapiso e planeza das paredes.

### 4.3.6 Revestimentos de encaixe e colagem

As alternativas de encaixe combinadas com a colagem surgiram com a necessidade de selantes entre as juntas, principalmente em áreas de maior contato com a umidade. Sendo assim, a instalação é executada de maneira semelhante a categoria anterior, porém com a adição de selantes especiais ou de silicone entre os encaixes e na parte de trás dos perfis (Figura 46), sem a necessidade do manuseio de rejunte como no caso de revestimentos tradicionais. Vale salientar que a instalação de algumas alternativas requer estruturas metálicas, espaçadores, cliques e perfis laterais e horizontais para a segurança e estabilidade, da mesma forma que a solução anterior.

**Figura 46 - Aplicação de revestimento do tipo encaixe e colagem**



Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Fibo UK (Fibo UK, 2020) e Wetwall (2024); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto

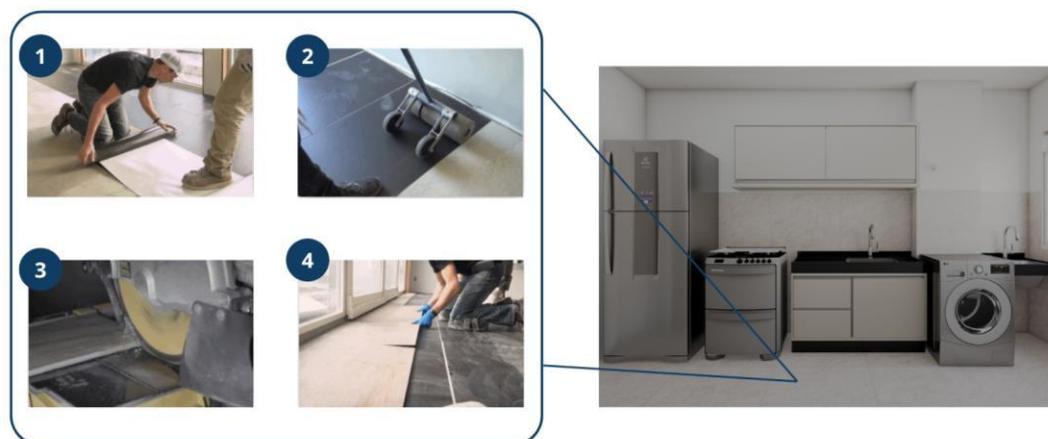
A falta de experiência no contexto brasileiro é um ponto negativo. Os demais desafios são os mesmos da opção anterior: o custo inicial relativamente mais alto, a necessidade de perfis metálicos nas paredes (em alguns casos) e a necessidade de nivelamento do contrapiso e planeza das paredes.

### 4.3.7 Revestimentos magnéticos

Por fim, uma abordagem inovadora para revestir pisos e paredes são os revestimentos magnéticos, elaborados com acabamentos tradicionais como cerâmicos e de colagem, porém com fixação por ímãs. A instalação não tem necessidade da preparação e cura de argamassa, mas do posicionamento de um rolo magnético feito de compósitos e ferrita magnética, fixado por grampos ou colado no contrapiso. Com isso, não há necessidade de preparo e cura da argamassa colante, e a manutenção e troca das peças é facilitada.

O encaixe do perfil com o ímã na parte de trás possibilita sua fixação com cortes, se necessários. Alguns fabricantes recomendam a aplicação de um rejunte de silicone entre as placas para evitar a desmagnetização e garantir a funcionalidade do produto. A Figura 47 mostra as etapas de aplicação do revestimento magnético.

**Figura 47 - Aplicação de revestimentos magnéticos**



Fonte: Esquerda (passo-a-passo) - Kablan (2024); direita (renderização 3D) - Helena Souza, membro do projeto

Como várias opções anteriores, esse estilo de revestir não possui tradição no mercado brasileiro, o que pode resultar uma desconfiança por parte dos consumidores. Similarmente também, o contrapiso deve estar perfeitamente nivelado e paredes com planeza adequada para a aplicação. O custo inicial relativamente alto também é um ponto negativo.

#### 4.3.8 Resumo das alternativas levantadas

A Tabela 21 apresenta um resumo do levantamento de alternativas, considerando os tipos de revestimento e características como ambientes de aplicação e marcas existentes no mercado, assim como as vantagens e as desvantagens de cada categoria a partir de informações fornecidas pelos fabricantes. Na coluna de custos, os valores foram levantados entre maio e julho de 2024 nos sites dos fabricantes ou plataformas de compras *online*. Destaca-se que são custos praticados diretamente ao(à) consumidor(a) físico, de modo que economias de escala são possíveis, em se tratando de aquisição por construtoras de grande porte.

Tabela 21 - Resumo das alternativas levantadas

<b>Categoria</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Marcas</b>	<b>Custos</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Monolíticos	<u>Banheiros e Cozinhas:</u> • Porcelanato líquido.	• AG Resinas.	• R\$135,00/m <sup>2</sup> .	• Durabilidade a riscos, água e produtos químicos; • Aceitação cultural; • Elimina etapas de rejunte; • Absorve ligeiras deformações no piso; • Não são escorregadios.	• Requer mão de obra especializada para aplicação; • Autonivelante (não permite caimentos); • Não possui manutenção fácil; • Custo inicial elevado (com potencial economia global da obra devido à maior eficiência).
Pré-fabricados	<u>Banheiros (dentro do box):</u> • Piso box.  <u>Banheiros (fora do box) e Cozinhas:</u> • Kit de parede.	• Roca; • Baymont • Bathware.	• Piso box: entre R\$814,90 e R\$2773,90; • Kit de parede: N/A; • Cola especial: R\$202,29; • Silicone: R\$73,07.	• Versatilidade com outras alternativas; • Instalação rápida; • Fabricantes/fornecedores brasileiros; • Personalização às necessidades da empresa.	• Falta de experiência no contexto brasileiro e aceitação cultural; • Custo inicial elevado (com potencial economia global da obra devido à maior eficiência); • Exigência de contrapiso perfeitamente nivelado e paredes com planeza adequada para a aplicação.
Modulares	<u>Banheiros e Cozinhas:</u> • Solução completa ( <i>pods</i> ).	• Tecnobagno.	• A partir de R\$6000,00/unid.	• Eficiência de instalação; • Confiabilidade de prazos e orçamentos; • Diminuição da necessidade de mão de obra, materiais e equipamentos no canteiro; • Fabricantes/fornecedores brasileiros; • Personalização de acordo com o projeto.	• Adaptação dos projetos de formas; • Logística de transporte do centro produtor; • Custo inicial elevado (com potencial economia global da obra devido à maior eficiência); • Falta de experiência no contexto brasileiro e aceitação cultural.
Colagem	<u>Banheiros (dentro do box):</u> • Revestimento de fibra de vidro – <i>Classic</i> ; • Pannel de acrílico.  <u>Banheiros (fora do box) e Cozinhas:</u> • Piso de borracha;	• The colour flooring company; • Santa Luzia; • Tensai Revest; • Lustrolite. <u>Colas específicas:</u> • Mapei; • Quartzolit.	• Revestimento de fibra de vidro: entre R\$75,00/m <sup>2</sup> e R\$95,00/m <sup>2</sup> ; • Pannel de acrílico: entre R\$849,54/unid a R\$2548,63/unid; • Piso de borracha: R\$471,90/m <sup>2</sup> ; • Piso vinílico: 49,77/m <sup>2</sup> ; • Papel de parede vinílico: R\$20,00/m <sup>2</sup> ;	• Leves; • Fáceis de cortar; • Execução acelerada; • Tem selante entre juntas; • Mão de obra comum; • Fornecedores e familiaridade no contexto brasileiro.	• Dificuldade de remoção para manutenção; • Cola que ainda requer testes a longo prazo e possui barreiras culturais; • Exigência de contrapiso perfeitamente nivelado e paredes com planeza adequada para a aplicação.

Categoria	Aplicações	Marcas	Custos	Vantagens	Desvantagens
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piso vinílico;</li> <li>• Revestimento de fibra de vidro – <i>Classic</i> e <i>Nature</i>;</li> <li>• Paineis de acrílico;</li> <li>• Papel de parede vinílico;</li> <li>• Revestimento de poliestireno.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimento de poliestireno: entre R\$131,84/unid e R\$159,78/unid;</li> <li>• Colas Mapei: entre R\$307,85/lata e R\$594,27/lata;</li> <li>• Cola Quartzolit: R\$823,90/lata.</li> </ul>		
Encaixe	<u>Banheiros (fora do box) e Cozinhas:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Hydro fix</i>;</li> <li>• <i>SPC flooring</i>;</li> <li>• <i>Infinity wall</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wallpanels;</li> <li>• Benchmark by Kingspan Isoeste;</li> <li>• Li&amp;Co Ag;</li> <li>• Decno floor of innovation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Hydro fix</i>: R\$219,31/m<sup>2</sup>;</li> <li>• <i>SPC flooring</i>: N/A;</li> <li>• <i>Infinity wall</i>: R\$1694,32/12 peças.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leves, fáceis de cortar;</li> <li>• Execução acelerada;</li> <li>• Facilidade de troca, substituição e reformas;</li> <li>• Similares a vinílicos;</li> <li>• Algumas soluções já existem no Brasil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de experiência no contexto brasileiro e aceitação cultural;</li> <li>• Não podem ser aplicados dentro do box;</li> <li>• Custo inicial elevado (soluções importadas com potencial economia global da obra devido à maior eficiência);</li> <li>• Não tem selante entre o encaixe;</li> <li>• Requer instalação de perfis; laterais/horizontais, grampos e cliques;</li> <li>• Exigência de contrapiso perfeitamente nivelado e paredes com planeza adequada para a aplicação.</li> </ul>
Encaixe-colagem	<u>Banheiro (dentro do box):</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Masq wall</i>;</li> <li>• <i>Fibo wall panels</i>;</li> <li>• <i>Wetwall panels</i>;</li> <li>• <i>PVC wall panels</i>;</li> <li>• <i>Wall hydro</i>.</li> </ul> <u>Banheiros (fora do box) e Cozinhas:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Masq wall</i>;</li> <li>• <i>Wetwall panels</i>;</li> <li>• <i>Smart wall</i>;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masq;</li> <li>• Fibo;</li> <li>• Wilsonart company;</li> <li>• Wallpanels;</li> <li>• Li&amp;Co Ag;</li> <li>• Benchmark by Kingspan Isoeste;</li> <li>• INTCO Decor;</li> <li>• Decno floor of innovation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Masq wall</i>: entre R\$1040,97/unid e R\$3479,97/unid;</li> <li>• <i>Fibo wall panels</i>: entre R\$854,77/unid e R\$939,34/unid;</li> <li>• <i>Wetwall panels</i>: entre R\$959,24/unid e R\$1888,74/unid;</li> <li>• <i>PVC wall panels</i>: R\$1023,90/unid;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Execução acelerada;</li> <li>• Leves, fáceis de instalar e cortar;</li> <li>• Facilidade de troca, substituição e reformas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de experiência no contexto brasileiro e aceitação cultural;</li> <li>• Custo inicial elevado (soluções importadas com potencial economia global da obra devido à maior eficiência);</li> <li>• Exigência de contrapiso perfeitamente nivelado e paredes com planeza adequada para a aplicação.</li> </ul>

<b>Categoria</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Marcas</b>	<b>Custos</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>PS 3D panel</i>;</li> <li>• <i>SPC wall panels</i>.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Wall hydro</i>: entre R\$1122,96/unid e R\$1451,25/unid;</li> <li>• <i>Smart wall</i>: N/A;</li> <li>• <i>PS 3D panel</i>: R\$21,22/unid;</li> <li>• <i>SPC wall panels</i>: N/A.</li> </ul>		
Magnéticos	<p><u>Banheiro (dentro do box):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcelanato magnético;</li> <li>• Cerâmica magnética.</li> </ul> <p><u>Banheiro (fora do box) e Cozinha:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcelanato magnético;</li> <li>• Cerâmica magnética;</li> <li>• Piso vinílico magnético;</li> <li>• Papel de parede magnético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kablan;</li> <li>• Matimex;</li> <li>• Resimdo;</li> <li>• Creative magnetic wallpaper.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcelanato magnético: R\$641,77/m<sup>2</sup>;</li> <li>• Cerâmica magnética: N/A;</li> <li>• Piso vinílico magnético: R\$448,79/m<sup>2</sup>;</li> <li>• Papel de parede magnético: N/A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimentos tradicionais com aplicação diferenciada;</li> <li>• Não requer preparação e cura de argamassa;</li> <li>• Facilidade de troca e reformas;</li> <li>• Economia em mão de obra;</li> <li>• Rejunte de silicone reduz tempo do serviço.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de experiência no contexto brasileiro e aceitação cultural;</li> <li>• Custo inicial elevado (soluções importadas com potencial economia global da obra devido à maior eficiência);</li> <li>• Exigência de contrapiso perfeitamente nivelado e paredes com planeza adequada para a aplicação.</li> </ul>

Fonte: Autor (2024)

## 4.4 ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DO FUZZY-TOPSIS

### 4.4.1 Rodada-teste

Após o levantamento e categorização das possíveis alternativas, foi feita uma rodada-teste do método de tomada de decisões Fuzzy-TOPSIS para definir sugestões iniciais de critérios que serão dados apresentados à empresa parceira. A fase de *brainstorming* chegou a 33 sugestões de critérios dos(as) pesquisadores(as) presentes, os quais se basearam em suas pesquisas e experiência em campo. Para definir quais seriam os critérios que seriam levados para o julgamento com os membros da empresa, os(as) tomadores(as) de decisão preliminares uniram, desmembraram e excluíram opções e chegaram a seis atributos:

- (i) Custo Global: custos totais relativos à aquisição dos materiais e mão de obra e execução do sistema;
- (ii) Manutenibilidade: questões relativas à prevenção de manifestações patológicas, reformas e flexibilidade de troca;
- (iii) Durabilidade: vida útil e desempenho mínimo em termos de garantia e cotidiano dos usuários;
- (iv) Aceitação dos Clientes: aprovação dos usuários quanto à estética, cultura e formas de utilização/limpeza;
- (v) Sustentabilidade: impacto financeiro, social e ambiental do sistema em todo o seu ciclo de vida;
- (vi) Compatibilidade: questões voltadas à compatibilidade com os demais sistemas dos empreendimentos da empresa, especialmente as paredes de concreto moldadas *in loco*, e como a mão de obra e o canteiro se adaptarão ao novo sistema.

O resultado discute muito bem com os critérios-chave para especificação de materiais que foram definidos por Linhares (2020). Os principais aspectos estão relacionados à funcionalidade, praticidade de manutenção, durabilidade/resistência e atratividade estética dos materiais, em consonância com as sugestões acima.

#### 4.4.2 Tomada de decisão final

Com os resultados apresentados até então e a metodologia bem definida, os(as) tomadores(as) de decisão (representantes dos setores de Produtos, de Suprimentos e de Orçamento da empresa parceira) deram início ao método com a análise dos critérios sugeridos pela rodada-teste. A experiência e o conhecimento técnico dos representantes da empresa parceira contribuíram para a escolha definitiva dos critérios a serem adotados na avaliação das soluções levantadas. Dessa forma, o critério Custo Global foi dividido em dois: (i) Custo Material: custos incluindo a aquisição, frete e acessórios; e (ii) Custo Aplicação: custos relativos à mão de obra e equipamentos, considerando produtividade, eficiência e tempo de aplicação. Os(as) agentes do setor de Suprimentos também decidiram incluir o critério Potencial de Compras, referente ao potencial que o mercado tem de absorver a demanda de compra em larga escala. Logo, em resumo, os critérios considerados foram os 8 abaixo:

- (i) Custo Material;
- (ii) Custo Aplicação;
- (iii) Manutenibilidade;
- (iv) Durabilidade;
- (v) Aceitação dos Clientes;
- (vi) Sustentabilidade;
- (vii) Compatibilidade;
- (viii) Potencial de Compra.

A partir daí, cada setor pôde avaliar o grau de importância desses critérios e o desempenho das alternativas levantadas baseado nas prioridades que o grupo tem no que tange suas atribuições dentro da empresa. A tomada de decisão foi realizada individualmente por cada membro, que atribuíram os termos linguísticos que foram convertidos nos vetores de pesos e na matriz de decisão. O setor de Produtos contou com 4 tomadores(as) de decisão, enquanto os setores de Suprimentos e de Orçamento, com apenas 1. Como é necessário, para a aplicação do método, criar um único vetor de pesos para cada critério e uma única matriz de decisão, foi feita uma média aritmética entre os votos do setor de Produtos.

#### 4.4.2.1 Julgamentos dos(as) tomadores(as) de decisão

Cada setor funcionou como um(a) tomador(a) de decisão, totalizando, portanto, três vetores de pesos. O grau de importância dos critérios de cada setor foi traduzido para seus pesos, como mostrado na Tabela 22.

**Tabela 22 - Vetores de pesos traduzidos relativos a cada setor**

Critério	Tradução								
	Produtos*			Suprimentos			Orçamento		
C1 - Custo Material	3,75	4,75	5,00	4,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00
C2 - Custo Aplicação	3,25	4,25	4,75	4,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00
C3 - Manutenibilidade	3,00	4,00	4,75	3,00	4,00	5,00	2,00	3,00	4,00
C4 - Durabilidade	2,25	3,25	4,25	3,00	4,00	5,00	2,00	3,00	4,00
C5 - Aceitação dos Clientes	3,50	4,50	5,00	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00
C6 - Sustentabilidade	1,50	2,50	3,50	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00	4,00
C7 - Compatibilidade	3,25	4,25	4,50	4,00	5,00	5,00	3,00	4,00	5,00
C8 - Potencial de Compra	3,50	4,50	5,00	2,00	3,00	4,00	3,00	4,00	5,00

\* Obs.: O setor de Produtos representa a média de quatro representantes.

**Fonte: Autor (2024)**

Observa-se que os setores tiveram certas variações no que consideram mais importante na seleção de alternativas. Justifica-se que cada área da empresa foca em suas prioridades e atribuições. A Tabela 23 resume a ordenação dos critérios de cada setor (e a descrição de suas principais funções). Nota-se que o custo é a principal preocupação de todos os setores, principalmente os custos relacionados à aquisição dos materiais. De forma geral, a sustentabilidade e a aceitação dos clientes não foram critérios tão valorizados. Isso não indica uma posição da empresa, mas sim um viés do método, derivado da falta de representantes das áreas de sustentabilidade e vendas / relacionamento externo da empresa.

**Tabela 23 - Ordenação da importância dos critérios por setor**

#	Produtos	Suprimentos	Orçamento
<b>Descrição do setor</b>	Desenvolvimento dos projetos, definindo padrões construtivos, especificações técnicas, tipologias habitacionais e inovação nos produtos.	Aquisição de materiais e serviços, garantindo qualidade, custo e prazo. Negocia com fornecedores, controla estoques e logística.	Análise de custos de insumos, mão de obra e serviços. Viabilização da rentabilidade do projeto e tomadas de decisões estratégicas da empresa.
1º	C1 - Custo Material	* C1 - Custo Material C2 - Custo Aplicação C7 - Compatibilidade	* C1 - Custo Material C2 - Custo Aplicação
2º	* C5 - Aceitação dos Clientes C8 - Potencial de Compra		* C7 - Compatibilidade C8 - Potencial de Compra
3º		* C3 - Manutenibilidade C4 - Durabilidade	
4º	C2 - Custo Aplicação		* C3 - Manutenibilidade C4 - Durabilidade
5º	C3 - Manutenibilidade	C8 - Potencial de Compra	* C3 - Manutenibilidade C4 - Durabilidade C6 - Sustentabilidade
6º	C7 - Compatibilidade		C5 - Aceitação dos Clientes
7º	C4 - Durabilidade	C6 - Sustentabilidade	C5 - Aceitação dos Clientes
8º	C6 - Sustentabilidade		

\* Obs.: Células mescladas indicam empate dos critérios.

**Fonte: Autor (2025)**

A partir disso, concatenou-se os dados coletados criando os vetores iniciais de pesos, os quais foram construídos através da média ponderada entre os vetores relativos a cada setor. Os pesos de cada setor foram considerados nessa etapa, a recordar: peso 2 para o setor de Produtos e peso 1 para os setores de Suprimentos e de Orçamentos, conforme definido pelos próprios representantes. Os vetores iniciais de pesos estão representados na Tabela 24. A priorização final dos critérios ficou na seguinte ordem: 1º) Custo Material; 2º) Custo Aplicação; 3º) Compatibilidade; 4º) Potencial de Compra; 5º) Manutenibilidade; 6º) Durabilidade; 7º) Aceitação dos Clientes; 8º) Sustentabilidade.

**Tabela 24 - Vetores iniciais de pesos**

Critério	Vetores iniciais de pesos		
C1 - Custo Material	3,88	4,88	5,00
C2 - Custo Aplicação	3,63	4,63	4,88
C3 - Manutenibilidade	2,75	3,75	4,63
C4 - Durabilidade	2,38	3,38	4,38
C5 - Aceitação dos Clientes	2,25	3,25	4,00
C6 - Sustentabilidade	1,50	2,25	3,75
C7 - Compatibilidade	3,38	4,38	4,75
C8 - Potencial de Compra	3,00	4,00	4,75

**Fonte: Autor (2024)**

Da mesma forma, cada setor julgou o desempenho das alternativas em cada critério, proporcionando a tradução apresentada no Apêndice A. A concatenação dos dados coletados permitiu a criação da matriz inicial de decisão, a qual foi construída por média ponderada entre as matrizes relativas a cada setor, considerando os pesos de cada um. A matriz inicial de decisão inicial já ponderada pelos três setores e seus(suas) tomadores(as) de decisão está representada na Tabela 25.

**Tabela 25 - Matriz inicial de decisão**

Solução	C1 - Custo Material			C2 - Custo Aplicação			C3 - Manutenibilidade			C4 - Durabilidade		
	S1 - Monolíticos	2,50	5,00	7,19	2,81	5,31	7,81	1,25	2,81	5,31	3,75	6,25
S2 - Pré-Fabricados	0,94	3,44	5,94	0,94	2,81	5,31	5,00	7,50	9,38	4,38	6,88	9,06
S3 - Modulares	0,31	0,94	3,44	0,00	1,56	4,06	4,06	6,56	9,06	4,06	6,56	9,06
S4 - Colagem	2,81	5,31	7,81	3,44	5,94	8,13	4,06	6,56	9,06	2,81	5,31	7,50
S5 - Encaixe	0,63	3,13	5,63	1,56	4,06	6,25	4,38	6,56	8,13	3,13	5,31	7,81
S6 - Colagem-Encaixe	0,31	2,19	4,69	1,25	3,75	6,25	2,81	5,31	7,81	2,19	4,69	7,19
S7 - Magnéticos	0,31	2,50	5,00	0,94	3,13	5,31	3,44	5,63	7,19	2,50	4,69	7,19
Solução	C5 - Aceitação dos Clientes			C6 - Sustentabilidade			C7 - Compatibilidade			C8 - Potencial de Compra		
S1 - Monolíticos	3,44	5,94	8,13	3,44	5,94	8,44	5,94	8,44	10,00	4,38	6,88	9,06
S2 - Pré-Fabricados	3,75	6,25	8,75	4,69	7,19	9,69	0,63	3,13	5,63	2,19	3,75	5,94
S3 - Modulares	3,75	6,25	8,75	4,69	7,19	9,69	0,63	0,94	3,44	0,31	2,50	5,00
S4 - Colagem	3,13	5,63	7,81	3,75	6,25	8,75	3,13	5,63	8,13	3,75	6,25	8,75
S5 - Encaixe	2,81	5,31	7,81	3,44	5,94	8,44	3,44	5,94	8,44	0,63	3,13	5,63
S6 - Colagem-Encaixe	2,50	5,00	7,50	3,44	5,94	8,44	3,44	5,94	8,44	1,25	3,75	6,25
S7 - Magnéticos	2,50	5,00	7,50	4,06	6,56	9,06	2,50	5,00	7,50	0,31	1,56	4,06

Fonte: Autor (2024)

#### 4.4.2.2 Processamento do algoritmo Fuzzy-TOPSIS

Os vetores normalizados representados na Tabela 26 foram construídos baseados no exemplo da Tabela 7. Já a matriz normalizada apresentada no Apêndice B foi determinada como no exemplo da Tabela 8.

**Tabela 26 - Vetores normalizados de pesos dos critérios**

Critério	Vetores normalizados de pesos dos critérios		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1 - Custo Material	0,78	0,98	1,00
C2 - Custo Aplicação	0,73	0,93	0,98
C3 - Manutenibilidade	0,55	0,75	0,93
C4 - Durabilidade	0,48	0,68	0,88
C5 - Aceitação dos Clientes	0,45	0,65	0,80
C6 - Sustentabilidade	0,30	0,45	0,65
C7 - Compatibilidade	0,68	0,88	0,95
C8 - Potencial de Compra	0,60	0,80	0,95

Fonte: Autor (2024)

Já a matriz normalizada e ponderada de decisão apresentada na Tabela 27 foi calculada conforme o exemplo da Tabela 9.

**Tabela 27 - Matriz normalizada e ponderada de decisão**

Solução	C1 - Custo Material			C2 - Custo Aplicação			C3 - Manutenibilidade			C4 - Durabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	0,25	0,62	0,92	0,25	0,60	0,94	0,07	0,23	0,52	0,20	0,47	0,78
S2 - Pré-Fabricados	0,09	0,43	0,76	0,08	0,32	0,64	0,29	0,60	0,93	0,23	0,51	0,88
S3 - Modulares	0,03	0,12	0,44	0,00	0,18	0,49	0,24	0,53	0,89	0,21	0,49	0,88
S4 - Colagem	0,28	0,66	1,00	0,31	0,68	0,98	0,24	0,53	0,89	0,15	0,40	0,72
S5 - Encaixe	0,06	0,39	0,72	0,14	0,46	0,75	0,26	0,53	0,80	0,16	0,40	0,75
S6 - Colagem-Encaixe	0,03	0,27	0,60	0,11	0,43	0,75	0,17	0,43	0,77	0,11	0,35	0,69
S7 - Magnéticos	0,03	0,31	0,64	0,08	0,36	0,64	0,20	0,45	0,71	0,13	0,35	0,69
Solução	C5 - Aceitação dos Clientes			C6 - Sustentabilidade			C7 - Compatibilidade			C8 - Potencial de Compra		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	0,18	0,44	0,74	0,11	0,28	0,57	0,40	0,74	0,95	0,29	0,61	0,95
S2 - Pré-Fabricados	0,19	0,46	0,80	0,15	0,33	0,65	0,04	0,27	0,53	0,14	0,33	0,62
S3 - Modulares	0,19	0,46	0,80	0,15	0,33	0,65	0,04	0,08	0,33	0,02	0,22	0,52
S4 - Colagem	0,16	0,42	0,71	0,12	0,29	0,59	0,21	0,49	0,77	0,25	0,55	0,92
S5 - Encaixe	0,14	0,39	0,71	0,11	0,28	0,57	0,23	0,52	0,80	0,04	0,28	0,59
S6 - Colagem-Encaixe	0,13	0,37	0,69	0,11	0,28	0,57	0,23	0,52	0,80	0,08	0,33	0,66
S7 - Magnéticos	0,13	0,37	0,69	0,13	0,30	0,61	0,17	0,44	0,71	0,02	0,14	0,43

Fonte: Autor (2024)

Conforme a teoria do *Fuzzy-TOPSIS*, as soluções ideais positiva e negativa são compostas pelos números *fuzzy* (1; 1; 1) e (0; 0; 0), respectivamente. Portanto, a Tabela 28 apresenta as soluções ideais para o problema estudado.

**Tabela 28 - Soluções ideais positiva e negativa**

Solução ideal	C1 - Custo Material			C2 - Custo Aplicação			C3 - Manutenibilidade			C4 - Durabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
Solução positiva $A^+$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Solução negativa $A^-$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Solução ideal	C5 - Aceitação dos Clientes			C6 - Sustentabilidade			C7 - Compatibilidade			C8 - Potencial de Compra		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
Solução positiva $A^+$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Solução negativa $A^-$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autor (2024)

O cálculo das distâncias de cada alternativa para as soluções ideais em relação aos critérios avaliados foi baseado no exemplo presente na Tabela 11. Como feito na Tabela 12, a soma total de todas as distâncias relativas aponta a distância total para as soluções ideais. Portanto, a Tabela 29 e a Tabela 30 apresentam as distâncias relativas e as distâncias totais de cada alternativa para as soluções ideais positiva e negativa, respectivamente.

**Tabela 29 - Distâncias relativas a cada critério e distância total para a solução ideal positiva**

Solução	C1 - Custo Material	C2 - Custo Aplicação	C3 - Manutenibilidade	C4 - Durabilidade	C5 - Aceitação dos Clientes	C6 - Sustentabilidade	C7 - Compatibilidade	C8 - Potencial de Compra	D+ (Soma total)
S1 - Monolíticos	0,49	0,49	0,75	0,57	0,59	0,71	0,38	0,47	4,45
S2 - Pré-Fabricados	0,63	0,69	0,47	0,53	0,57	0,66	0,74	0,66	4,96
S3 - Modulares	0,82	0,80	0,52	0,55	0,57	0,66	0,86	0,77	5,56
S4 - Colagem	0,46	0,44	0,52	0,62	0,61	0,70	0,56	0,51	4,42
S5 - Encaixe	0,67	0,60	0,52	0,61	0,63	0,71	0,54	0,73	5,01
S6 - Colagem-Encaixe	0,74	0,63	0,60	0,66	0,65	0,71	0,54	0,69	5,20
S7 - Magnéticos	0,72	0,68	0,58	0,65	0,65	0,68	0,60	0,82	5,39

Fonte: Autor (2024)

**Tabela 30 - Distâncias relativas a cada critério e distância total para a solução ideal negativa**

Solução	C1 - Custo Material	C2 - Custo Aplicação	C3 Manutibilidade	C4 - Durabilidade	C5 - Aceitação dos Clientes	C6 - Sustentabilidade	C7 - Compatibilidade	C8 - Potencial de Compra	D- (Soma total)
S1 - Monolíticos	0,66	0,66	0,65	0,54	0,51	0,37	0,73	0,67	4,79
S2 - Pré-Fabricados	0,51	0,41	0,66	0,60	0,55	0,43	0,35	0,42	3,92
S3 - Modulares	0,26	0,30	0,61	0,59	0,55	0,43	0,20	0,33	3,27
S4 - Colagem	0,71	0,71	0,61	0,48	0,49	0,38	0,54	0,63	4,56
S5 - Encaixe	0,47	0,52	0,57	0,50	0,48	0,37	0,57	0,38	3,85
S6 - Colagem-Encaixe	0,38	0,50	0,52	0,45	0,46	0,37	0,57	0,43	3,67
S7 - Magnéticos	0,41	0,42	0,50	0,45	0,46	0,40	0,49	0,26	3,40

Fonte: Autor (2024)

Por fim, calculou-se o coeficiente de aproximação de cada alternativa para a solução ideal positiva conforme exemplo da Tabela 13. Sabe-se que quanto maior o coeficiente de aproximação, menor a distância global da alternativa para a solução ideal. Sendo assim, a Tabela 31 elenca a ordenação final das alternativas em ordem crescente de coeficiente de aproximação. A tabela é, portanto, o resultado da avaliação dos(as) tomadores(as) de decisão ao aplicar o método *Fuzzy-TOPSIS*.

**Tabela 31 - Coeficientes de aproximação e ranqueamento final das alternativas**

Solução	CC	Ranking
S1 - Monolíticos	0,5183	1°
S4 - Colagem	0,5080	2°
S2 - Pré-Fabricados	0,4412	3°
S5 - Encaixe	0,4349	4°
S6 - Colagem-Encaixe	0,4140	5°
S7 - Magnéticos	0,3866	6°
S3 - Modulares	0,3704	7°

Fonte: Autor (2024)

A alternativa que melhor atendeu às prioridades da empresa parceira, de forma balanceada em relação aos critérios selecionados e seus graus de importância, foi a solução S1 - Monolíticos, representada pelas resinas epóxi. A reunião de fechamento da primeira fase do projeto junto ao departamento de Pesquisa e Desenvolvimento

teve como decisão a adoção dessa categoria para o piso dos banheiros e das cozinhas, considerando a opção de piso-box (da categoria S2 - Pré-Fabricados) para a área do box. Essa decisão baseou-se no autonivelamento da superfície dado pelo assentamento da resina epóxi, o que não permite um caimento para escoamento da água. Logo, o piso-box é uma solução pré-fabricada e racionalizada, desenvolvida justamente para conferir o caimento necessário dentro dos boxes. Em relação às paredes, serão adotados os métodos já utilizados pela empresa parceira de forma otimizada: revestimento cerâmico nas paredes hidráulicas (banheiro: dentro do box e que envolvem o lavatório; cozinha: da pia e do tanque) e pintura com tinta epóxi nas demais paredes. Sendo assim, nas seções a seguir, foram feitos a análise do processo das resinas epóxi e a otimização do método tradicional.

#### 4.5 ANÁLISE DA ALTERNATIVA ESCOLHIDA

Uma introdução sobre o que são as resinas epóxi e suas principais vantagens e desvantagens foi apresentada no item 4.3.1 dessa dissertação. No item 4.3.2 também é apresentado o piso-box que servirá de complementação às resinas epóxi. Sendo assim, a análise das resinas epóxi (alternativa escolhida na tomada de decisão) se dará quantitativamente pela estimativa de produção e qualitativamente pelo Diagrama de Ishikawa e a Matriz SWOT.

##### 4.5.1 Processo de revestimento com resina epóxi

O processo de revestimento de pisos com resina epóxi foi estudado através de sites dos fabricantes e canais do YouTube como [Art Pisos 3D](#), [Epóxi Edi](#), [Leroy Merlin Brasil](#) e [Redelease](#). A Figura 48 apresenta as etapas presentes no processo, as quais serviram como base para as análises a seguir.

**Figura 48 - Etapas do processo de revestimento com resina epóxi**



Fonte: Autor (2025) adaptado de Quartzolit (2025)

Primeiramente, a preparação da superfície se dá pelo fechamento de buracos e trincas que podem existir no contrapiso, além do completo lixamento e limpeza, removendo todo pó gerado. Os ralos devem ser totalmente protegidos para não entrar produtos, o que pode comprometer a instalação de água e esgoto. Já durante as aplicações do *primer*, da base niveladora e da resina epóxi, é importante frisar que possuem etapas comuns como a mistura dos componentes (quando mais de um), a secagem, o novo lixamento (e posterior limpeza). A aplicação da base niveladora envolve a retirada das bolhas que podem aparecer no lançamento, com a utilização de um rolo dentado. Conhecendo as etapas do processo, a análise pôde ser iniciada.

Para a estimativa da produção do sistema, foi realizada a coleta de dados com os profissionais responsáveis pelos canais do YouTube que serviram como conhecimento do processo. As informações passadas para os profissionais foram: (i) o tipo da obra: construção residencial; (ii) as áreas dos ambientes a serem revestidos: 1,56 m<sup>2</sup> no banheiro (sem o box) e 6,4 m<sup>2</sup> na cozinha; (iii) a média de unidades por empreendimento: 240 a 272 unidades habitacionais. Apenas duas respostas foram recebidas: [Casa Epóxi](#) com cinco anos de experiência e [Epóxi Edi](#) com nove. A fim de

considerar atividades que podem ser feitas em paralelo, cada profissional informou quantas unidades habitacionais que conseguiria revestir com resina epóxi (pisos da cozinha e do banheiro). O primeiro estimou cerca de quatro unidades em dois dias de trabalho; o segundo, também estimou quatro unidades, porém em três dias de serviço. Tais respostas foram base da estimativa da produção da mão de obra. Portanto, a produção estimada foi de  $0,63 \text{ h/m}^2$  ( $38 \text{ min/m}^2$ ) conforme mostra a Tabela 32. Mesmo que a unidade seja a mesma do cálculo no item 4.2.1, não é conveniente realizar comparações, visto que essas seriam melhor realizadas em termos de produtividade.

**Tabela 32 - Produção estimada da mão de obra do sistema de resina epóxi**

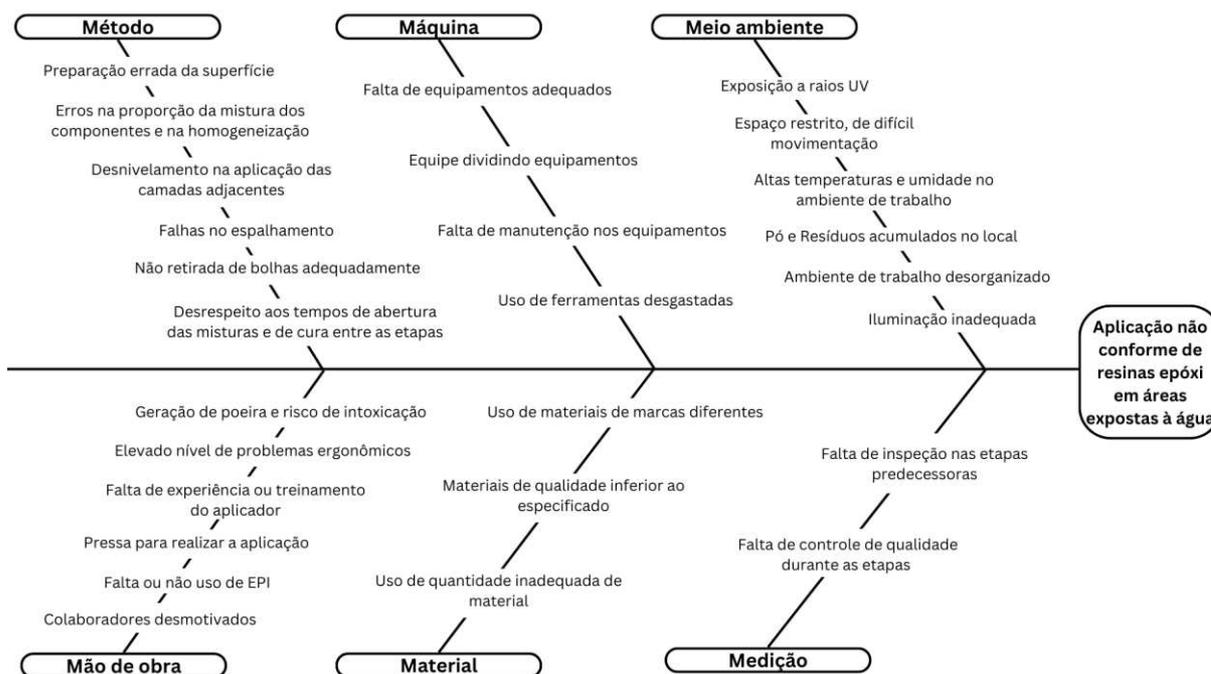
Profissional	UH	Dias (8h/dia)	Área/UH ( $\text{m}^2$ )	Produção unitária ( $\text{h/m}^2$ )	Produção média ( $\text{h/m}^2$ )
<a href="#">Casa Epóxi</a>	4	2	7,96	0,50	0,63
<a href="#">Epóxi Edi</a>	4	3	7,96	0,75	

Fonte: Autor (2025)

#### 4.5.2 Diagrama de Ishikawa do sistema de resina epóxi

O Diagrama de Ishikawa (Figura 49) foi elaborado para identificar as possíveis causas (e riscos) da aplicação não conforme de resina epóxi em pisos.

**Figura 49 - Diagrama de Ishikawa para revestimentos com resina epóxi**



Fonte: Autor (2025)

Assim como no sistema de revestimento cerâmico (Figura 29), a categoria “método” concentra a maioria das causas, também devido às diversas camadas e componentes. Entretanto, para o sistema epóxi, foram levantadas 50% menos fontes de riscos, provavelmente porque as etapas são mais parecidas entre si. A limpeza antes e durante a aplicação são primordiais para evitar respingos nas paredes e entupimentos de ralos. Existe um maior risco de intoxicação com os produtos utilizados no sistema epóxi, evidenciando a necessidade de uso dos EPIs.

Entre os itens que são comuns entre os revestimentos cerâmicos e o piso epóxi, está a falta de experiência do aplicador, que pode afetar não só a produtividade, mas a qualidade do serviço. Há, também, a baixa qualificação profissional para o serviço, as diferentes ferramentas necessárias e o grande potencial para problemas ergonômicos também comprometem a qualidade da aplicação, como trazem as categorias “mão de obra” e “máquinas”. Por fim, as falhas no controle de qualidade das etapas anteriores e durante a aplicação dos materiais estão presentes na categoria de “medição”.

Já em relação às resinas epóxi especificamente, têm-se os riscos da categoria “materiais” relacionados aquisição de suprimentos com nível de qualidade inferior ao

recomendado e incompatíveis com os tipos construtivos se destacam, assim como a quantidade de material utilizada em cada camada que depende do desnivelamento do substrato. Na categoria “meio ambiente”, os riscos estão voltados à falta de um ambiente preparado para realização do serviço, o qual precisa ter limpeza e organização suficientes. Além disso, altas temperaturas ou umidade da região podem influenciar o tempo de cura e/ou causar manifestações patológicas.

### 4.5.3 Matriz SWOT do sistema de resina epóxi

A Figura 50 representa a Matriz SWOT originada pelo levantamento de ideias realizado pela equipe de pesquisa.

**Figura 50 - Matriz SWOT para revestimentos epóxi**



Fonte: Autor (2025)

Assim como as placas cerâmicas, as resinas epóxis são altamente duráveis, tanto mecanicamente quanto quimicamente. Também possuem limpeza fácil, com a vantagem extra de não possuírem juntas. Logo, não há a etapa de rejuntamento e

nem a possibilidade de acúmulo de sujeira nas juntas a longo prazo. O tempo de cura é reduzido em comparação à cerâmica e o acabamento uniforme contribui para a estética e funcionalidade do revestimento, não gerando muitos resíduos. Entretanto, a necessidade de uma mão de obra com maior qualificação e o investimento inicial ser relativamente mais elevado são algumas de suas fraquezas. O método necessita de uma preparação das misturas dos componentes das camadas que demandam maior atenção do operário. Além disso, a poeira do lixamento e os compostos voláteis liberados na secagem podem afetar à saúde dos profissionais, se não houver os cuidados necessários. A manutenção pelo(a) usuário(a) também é dificultosa visto que demanda a repetição de praticamente todo o processo de execução, como a cerâmica. A resina epóxi tem a desvantagem extra da deterioração (amarelamento) com a exposição a raios ultravioleta, o que geralmente não é um problema em banheiros, mas pode ser uma questão para cozinhas.

A implementação de inovações tecnológicas e a integração com tecnologias modernas são oportunidades que o método traz consigo. O mercado está se expandindo e a aceitação dos(as) usuários(as) está aumentando, muito pela melhor produtividade do sistema e a demanda cresce por soluções mais rápidas e limpas. Todavia, existem outros materiais alternativos em alta, o que aumenta a concorrência. Além disso, mesmo com a expansão do mercado, grande parcela da população ainda resiste em trocar o sistema tradicional de cerâmica que já está difundido há séculos. Isso também destaca a dependência de fornecedores e prestadores de serviço especializados, os quais ainda podem não conseguir atender toda a demanda requisitada no caso de substituição completa por esse sistema. Essa situação seria contornada pelo treinamento e qualificação de equipes próprias.

#### 4.6 FORMAS DE OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO TRADICIONAL

Uma segunda solução compreende manter o sistema cerâmico em áreas molhadas e molháveis, porém com melhorias pontuais (implementação de inovações incrementais). Assim, busca-se aproveitar as vantagens atuais do sistema (tradicionalismo da empresa, aceitação cultural do público-alvo, durabilidade do sistema etc.), ao mesmo tempo que realizando ações para melhorar a qualidade e a

produtividade durante o assentamento. O MFV (Figura 27 e Figura 28) e a Matriz SWOT (Figura 30) serviram como base para identificar as oportunidades propostas a seguir, divididas em mão de obra, ferramentas e coordenação modular (paginação e modulação).

#### **4.6.1 Mão de obra**

Primeiramente, a qualidade dos profissionais se torna essencial para esse processo, visto que a produtividade está totalmente atrelada à eficiência da mão de obra. Logo, algumas práticas devem ser previstas para que o uso de ferramentas mais eficientes e a nova paginação/modulação alcancem os resultados esperados.

- Adotar mão de obra própria ao invés de empreitada e investir na qualificação dos profissionais, para mitigar variabilidade do produto, a exemplo do que era comumente feito com os “bloqueiros”, grupos de profissionais especializados no assentamento de blocos para alvenaria estrutural;
- Estudar a viabilidade de se fechar grupos de serviço, com operários específicos para cada etapa (ex. equipe separada para assentamento, cortes, rejuntamento e limpeza);
- Fiscalizar as métricas de desempenho rigorosamente, incluindo bonificações por metas, para encorajar a produtividade e reduzir erros.

Com uma equipe treinada e controlada de forma a produzir mais e melhor, necessita-se de ferramentas que atendam às demandas que a nova produtividade requer, além de projetos de paginação mais otimizados.

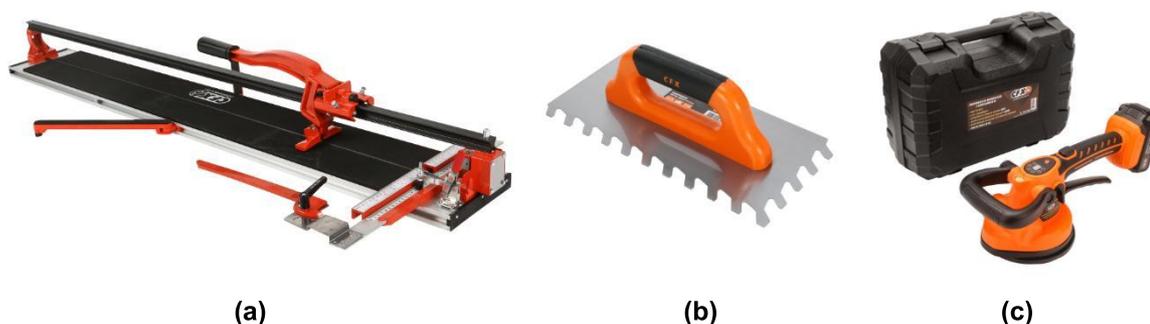
#### **4.6.2 Ferramentas**

O aperfeiçoamento do processo pode ser realizado com o uso de ferramentas de última geração, as quais trarão mais eficiência para o serviço. A Figura 51 apresenta algumas dessas ferramentas.

- Cortes - prévios ou não, utilizar maquinário mais produtivo e que contribua para a boa ergonomia dos operários, como:

- o cortador profissional de base reforçada (a);
- Colagem - utilizar ferramentas que melhorem a qualidade do serviço atrelada a melhor produtividade, tais como:
  - desempenadeira dentada angular (b) que cria cordões de assentamento oblíquos, os quais são esmagados mais rápido e conferem melhor aderência;
  - movimentador e assentador com vibração (c) que promove a união das ferramentas de movimentação e posicionamento das peças com o vibrador de assentamento.

**Figura 51 - (a) Cortador profissional de base reforçada, (b) desempenadeira dentada angular e (c) movimentador e assentador com vibração**



Fonte: Ceramfix (2024)

Tais resultados vão de encontro com as propostas de melhorias sugeridas por Dichel *et al.* (2018), as quais confirmam e complementam as ferramentas levantadas: (i) aplicador contínuo de argamassa colante sobre o piso; (ii) ventosas para assentamento das placas cerâmicas; (iii) marcador de cerâmicas para “copiar” os ângulos de corte; (iv) suporte para balde com rodas de *nylon* para facilitar seu deslocamento (Dichel *et al.*, 2018).

#### 4.6.3 Coordenação modular

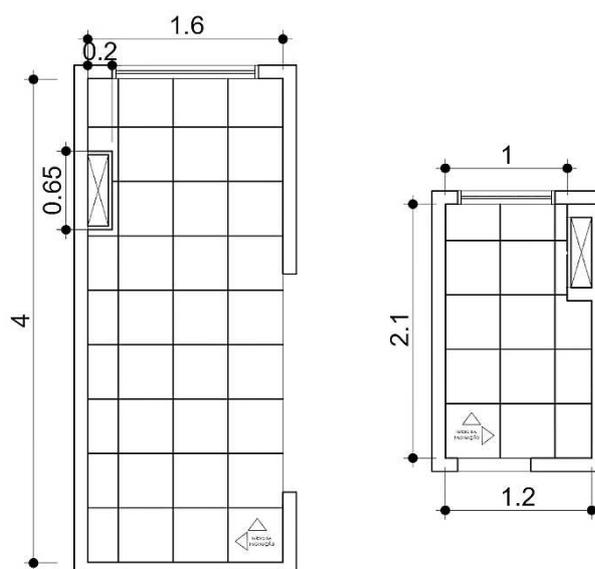
Além do aprimoramento da mão de obra e dos equipamentos, também é essencial um planejamento otimizado do assentamento das peças. Para isso, foram elaborados

dois cenários de paginação, além do original, para se comparar o tempo de execução e a geração de resíduos. Como é um exemplo do potencial de melhoria, essa análise foi feita somente para os pisos.

#### 4.6.3.1 Proposta atual

O método atual adotado pela empresa parceira utiliza cerâmicas com dimensões de 45 x 45 cm (tamanho real de 45 x 45 cm) e juntas elásticas de 4 mm. Os rodapés são feitos com cerâmica reaproveitada dos cortes piso, quando possível; caso contrário, corta-se peças novas. A Figura 52 representa a paginação atualmente adotada pela empresa parceira.

**Figura 52 - Paginações atuais (cozinha à esquerda e banheiro à direita)**



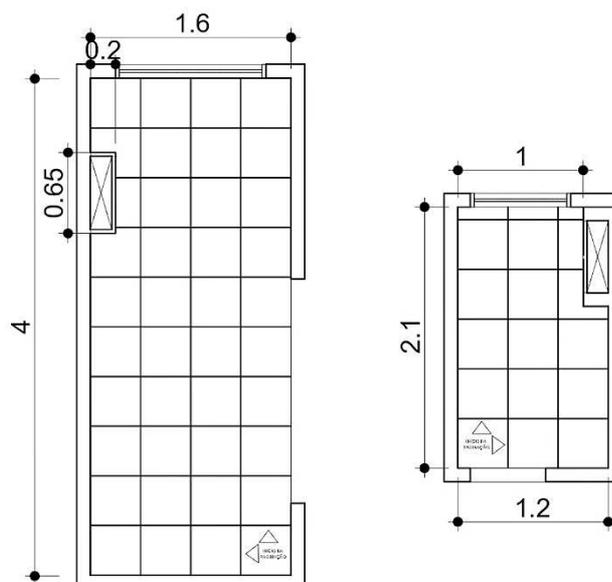
Fonte: Autor (2025)

#### 4.6.3.2 Proposta de melhoria 1 – mudança no tamanho das peças

A primeira proposta substitui as cerâmicas de 45 x 45 cm para de 40 x 40 cm (medida real de 39,6 x 39,6 cm), sem modificar o tamanho dos cômodos. A substituição permite adaptar o revestimento às dimensões dos ambientes, resultando em um processo mais eficiente (Figura 53). Sabe-se que a maioria dos conjuntos

habitacionais sociais envolvem grandes volumes de unidades habitacionais. Logo, assume-se que é plausível o estabelecimento de parcerias entre as construtoras e as indústrias cerâmicas, a fim de fornecer placas de dimensões específicas.

**Figura 53 - Paginações da proposta de melhoria 1: mudança no tamanho das peças**



Fonte: Autor (2025)

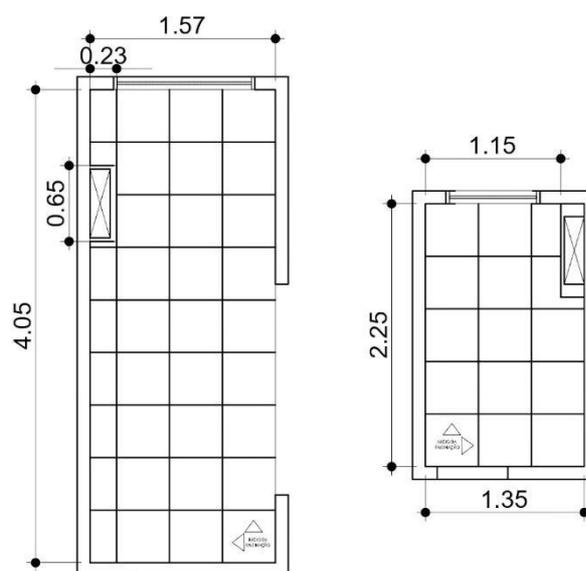
No que se refere à cozinha (dimensões 160 x 400 cm), o uso de placas cerâmicas de 40 x 40 cm elimina quase a totalidade dos cortes. O assentamento das peças se torna mais simplificado, possuindo cortes apenas na área do *shaft*. Em relação ao banheiro (dimensões 210 x 120 cm), a parede de menor dimensão é perfeitamente divisível por 40 cm. Entretanto, a parede de maior dimensão ainda necessitará de alguns cortes, assim como na área do *shaft*.

Sobre o rodapé, propõe-se a utilização das soluções feitas de poliestireno, as quais são comercializados por metro e são resistentes à água. A prática elimina a necessidade de cortes adicionais de peças cerâmicas, o que promove maior eficiência no uso de materiais.

#### 4.6.3.3 Proposta de melhoria 2 – mudança no tamanho dos cômodos

A segunda proposta mantém o tamanho original da placa de 45 x 45 cm (assumindo tamanho real de 44,6 x 44,6 cm) e altera as dimensões dos ambientes (Figura 54).

**Figura 54 - Paginações da proposta de melhoria 2: mudança no tamanho dos cômodos**



Fonte: Autor (2025)

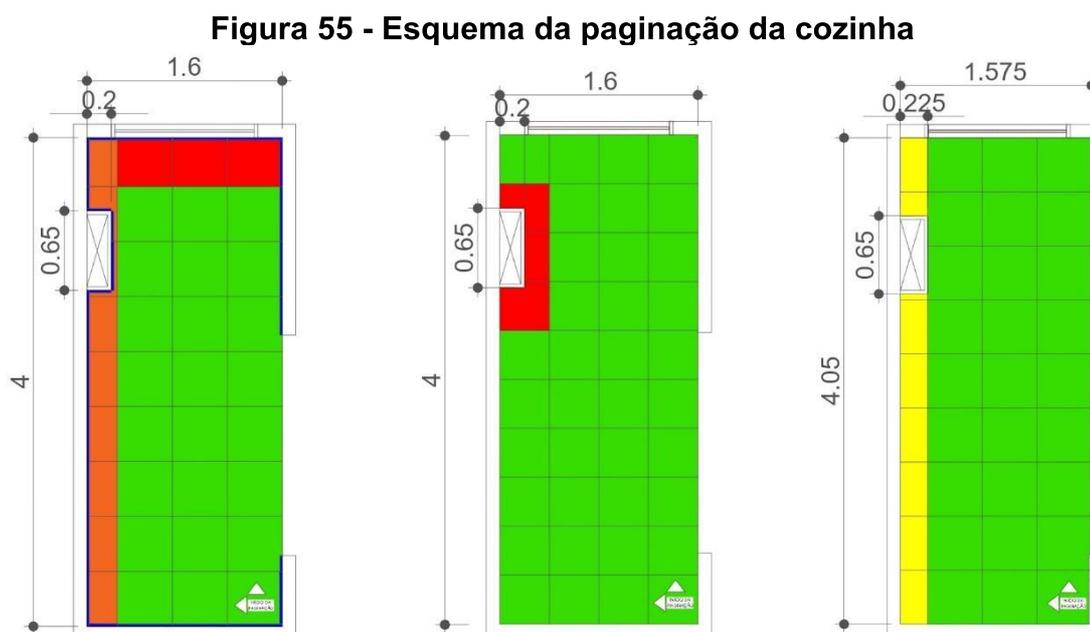
A cozinha passa a ter 405 x 157,5 cm ao invés de 400 x 160 cm e o seu *shaft* é alargado de 20 cm para 22,5 cm. A área total do ambiente sofreu apenas -0,33% de alteração. Os cortes são eliminados na dimensão de 405 cm, enquanto a de 157,5 cm ainda é necessário. Entretanto, as placas podem ser cortadas ao meio, permitindo o uso de ambas as metades. Na área do *shaft*, haverá necessidade apenas de corte nas laterais de cada meia-peça, o que facilita o assentamento e melhora o acabamento estético.

Já o banheiro deixa de possuir 210 x 120 cm e passa a medir 225 x 135 cm. Apesar do aumento da área do cômodo em 20,5%, eliminar-se-ia os cortes em ambas as dimensões, exceto na área do *shaft*. A aplicação do rodapé segue a lógica da

proposta de melhoria 1: uso de rodapé de poliestireno para evitar a necessidade de novas peças e mais cortes para essa função.

#### 4.6.3.4 Análise quantitativa dos cenários

A proposta atual e as duas propostas de melhoria são apresentadas lado a lado nos esquemas da Figura 55 (cozinha) e da Figura 56 (banheiro). As placas verdes indicam peças sem corte; as laranjas indicam peças cortadas reaproveitáveis como rodapé; as amarelas indicam peças cortadas, mas que podem ser reaproveitadas no próprio piso; as vermelhas indicam peças cortadas sem a possibilidade de reaproveitamento; e em azul está indicado o rodapé cerâmico (somente para o cenário atual). A comparação das quantidades de cada cenário é apresentada na Tabela 33 (cozinha) e Tabela 34 (banheiro).



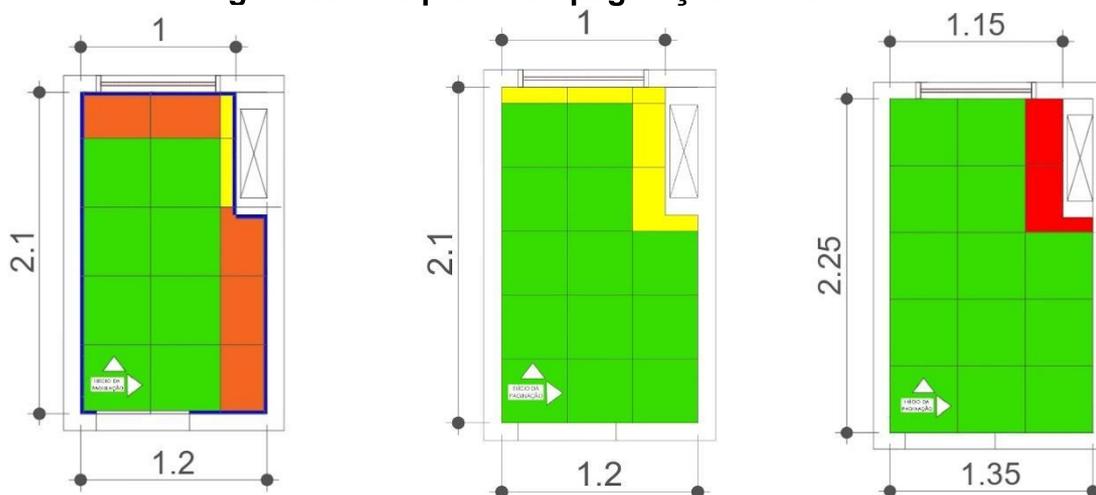
**Esquerda: proposta atual; centro: proposta de melhoria 1; direita: proposta de melhoria 2**

**Fonte: Autor (2025)**

**Tabela 33 - Comparação quantitativa entre as propostas na cozinha**

	Proposta atual	Proposta 1: alteração na peça	Proposta 2: alteração no cômodo
Área total do cômodo	6,27 m <sup>2</sup>	6,27 m <sup>2</sup>	6,21 m <sup>2</sup> (-0,96%)
Tamanho da peça	45 x 45 cm	40 x 40 cm	45 x 45 cm
Peças inteiras necessárias (Sem cortes) - Verde	27 peças (5,47 m <sup>2</sup> )	37 peças (5,92 m <sup>2</sup> )	27 peças (5,47 m <sup>2</sup> )
Peças cortadas reaproveitáveis como rodapé - Laranja	9 peças (0,81 m <sup>2</sup> )	8,2 m de rodapé de poliestireno	9,8 m de rodapé de poliestireno
Peças cortadas reaproveitadas no próprio piso - Amarela	0 peças (0 m <sup>2</sup> )	0 peças (0 m <sup>2</sup> )	8 peças (0,76 m <sup>2</sup> )
Peças desperdiçadas (Áreas cortadas não reaproveitáveis) - Todas as cores	0,40 m <sup>2</sup>	0,13 m <sup>2</sup> (-67,5%)	0,04 m <sup>2</sup> (-90%)
Tempo estimado de serviço	172 min (incluindo cortes e instalação do rodapé)	138,7 min (sem incluir rodapé) (-19,4%)	141,2 min (sem incluir rodapé) (-17,9%)

Fonte: Autor (2025)

**Figura 56 - Esquema da paginação do banheiro**

Esquerda: proposta atual; centro: proposta de melhoria 1; direita: proposta de melhoria 2

Fonte: Autor (2025)

**Tabela 34 - Comparação quantitativa entre as propostas no banheiro**

	<b>Proposta atual</b>	<b>Proposta 1: alteração na peça</b>	<b>Proposta 2: alteração no cômodo</b>
Área total do cômodo	2,36 m <sup>2</sup>	2,36 m <sup>2</sup>	2,88 m <sup>2</sup> (+22%)
Tamanho da peça	45 x 45 cm	40 x 40 cm	45 x 45 cm
Peças inteiras necessárias (Sem cortes) - Verde	8 peças (1,62 m <sup>2</sup> )	13 peças (2,08 m <sup>2</sup> )	13 peças (2,63 m <sup>2</sup> )
Peças cortadas reaproveitáveis como rodapé - Laranja	5 peças (0,05 m <sup>2</sup> )	5 m de rodapé de poliestireno	6,65 m de rodapé de poliestireno
Peças cortadas reaproveitadas no próprio piso - Amarela	1 peça (0,07 m <sup>2</sup> )	2 peças (0,28 m <sup>2</sup> )	0 peças (0 m <sup>2</sup> )
Peças cortadas apenas para rodapé	2 peças (0,3 m <sup>2</sup> )	0 peças (0 m <sup>2</sup> )	0 peças (0 m <sup>2</sup> )
Peças desperdiçadas (Áreas cortadas não reaproveitáveis) - Todas as cores	1,7 m <sup>2</sup>	0,04 m <sup>2</sup> (-97,6%)	0,16 m <sup>2</sup> (-90,6%)
Tempo estimado de serviço	73,25 min (incluindo cortes e instalação do rodapé)	53,31 min (sem incluir rodapé) (-27,2%)	61,2 min (sem incluir rodapé) (-16,5%)

**Fonte: Autor (2025)**

Nota-se a significativa diferença entre os cenários estudados. Na proposta de melhoria 1 (mudança no tamanho da peça), o tempo de execução das cozinhas foi reduzido em 19,4% e dos banheiros em 27,2%. As cozinhas gerariam 67,5% menos resíduo e os banheiros, 97,6%. Já na proposta de melhoria 2 (alteração das dimensões do ambiente), o tempo estimado de execução da cozinha se reduz em 17,9%. No caso do banheiro, mesmo com um aumento de 20% da área, a redução dos cortes fez o tempo do serviço cair 16,5%. A geração de resíduos cai 90% nas cozinhas e 90,6% nos banheiros.

Considera-se, então, a relevância dessas alterações, especialmente ao analisar o impacto em uma escala maior, como em um bloco composto por 240 apartamentos (do estudo de caso). Ao adotar as propostas que resultam na menor geração de resíduos (proposta 2 para a cozinha e proposta 1 para o banheiro), a quantidade de resíduos gerados passaria de 201,6 m<sup>2</sup> para apenas 7,68 m<sup>2</sup>. Adotando as propostas mais rápidas (proposta 1 para a cozinha e o banheiro), o total de homens-hora do

serviço de assentamento de cerâmica do prédio seria reduzido de 392,4 h para 307,2 h (21,7%) (desconsiderando rodapés, que não foram considerados em nenhum dos casos).

#### 4.6.3.5 *Estimativa da produção*

Os melhores cenários da paginação em termos de tempo estimado de serviço nos pisos da cozinha e do banheiro foram os da proposta de melhoria 1 (19,4% e 27,2%, respectivamente). No cálculo da produção da mão de obra no fim do item 4.2.1, obteve-se 1816 horas de serviço como um todo, sem a divisão por cômodos. Sendo assim, ponderou-se a redução do tempo de serviço pela área de cerâmica assentada no piso de cada cômodo (6,3 m<sup>2</sup> na cozinha e 2,4 m<sup>2</sup> no banheiro), chegando a 21,6%. Logo, a extrapolação da economia de tempo chegou a 1425 horas, ou seja, 0,12 h/m<sup>2</sup> (7 min/m<sup>2</sup>). Potencialmente, os valores poderiam ser melhores com a implementação das sugestões para mão de obra e ferramentas presentes nos itens 4.6.1 e 4.6.2, além de considerar a coordenação modular para paredes também.

A análise busca entender os impactos numa escala mais ampla, porém o método é limitado por considerar uma razão proporcional, o que nem sempre ocorre nas obras devido aos serviços que ocorrem em paralelo. Entretanto, como o assentamento em si (que envolvem os cortes que se busca diminuir) é normalmente realizado em sequência, por um único operário, torna-se plausível assumir essa redução em escala maior. As questões qualitativas inerentes ao processo também são destacadas, as quais podem comprometer o resultado da coordenação modular. Por exemplo: a possibilidade de cerâmicas chegarem danificadas dentro das caixas (quebradas ou com lascas); as variações no tamanho das placas; os desalinhamentos nas paredes; e os erros de corte.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo fez parte do Projeto de Pesquisa MAI do CNPq em parceria com uma grande construtora brasileira. O principal objetivo foi desenvolver e validar um *framework* para soluções mais eficientes de sistemas de construção. Para isso, realizou-se o diagnóstico do serviço tradicional de revestimento de áreas expostas à água através de ferramentas quanti-qualitativas (MFV, Ishikawa e SWOT). Após isso, levantou-se alternativas para o sistema atual e ranqueou-as por decisão multicritério (*Fuzzy-TOPSIS*). Por fim, analisou-se a solução escolhida e otimizou-se o método atual a fim de propor a melhoria do sistema estudado.

O diagnóstico pelo MFV revelou os principais gargalos do sistema tradicional, destacando-se o assentamento das peças cerâmicas e o rejuntamento das juntas plásticas. O tempo de espera entre as etapas e de cura da argamassa e do rejunte foram os principais responsáveis pela baixa produtividade do método atual. A produção média calculada foi de  $9 \text{ min/m}^2$ . Já o Diagrama de Ishikawa revelou que os principais riscos do serviço estão relacionados ao método em si, devido à grande quantidade de etapas diferentes e os variados insumos e ferramentas empregados. A matriz SWOT destacou as principais forças (ex. durabilidade, baixa necessidade de qualificação), as fraquezas (ex. alta geração de resíduos, aplicação demorada), as oportunidades (ex. aceitação pelo mercado, aprovação dos órgãos financiadores) e as ameaças (ex. variabilidade da mão de obra) do sistema de revestimento cerâmico. Os métodos de análise adotados mostraram-se adequados e entregaram resultados condizentes e convergentes.

As alternativas levantadas para substituição do revestimento cerâmico foram categorizadas de acordo com a similaridade dos materiais e o método de fixação/instalação. Foram elencadas sete categorias: monolíticos (ex. resinas epóxi), pré-fabricados (ex. piso-box), modulares (ex. *pods* - banheiros prontos), colagem (ex. laminados), encaixe (ex. *Hydro fix*), colagem-encaixe (ex. *Masq wall*) e magnéticos (ex. cerâmicas e laminados magnéticos). Todas as categorias tiveram suas principais vantagens e desvantagens levantadas, bem como custos estimados de aquisição e principais fornecedores. Essa análise mostrou que existem diversas alternativas de

alta produtividade já disponíveis nos mercados nacional e internacional, bastando que a inércia tecnológica do setor da construção seja superada.

O ranqueamento foi realizado pelo método *Fuzzy-TOPSIS* que ordena alternativas baseadas no desempenho das soluções em multicritérios, cada um com sua importância definida. Isso permite reduzir subjetividades e balancear as opções de forma relativamente imparcial. A tomada de decisão foi realizada por representantes dos setores de Produtos, de Suprimentos e de Orçamento da empresa parceira, os quais definiram os revestimentos monolíticos (resinas epóxi) como a solução mais próxima da ideal para substituição das placas cerâmicas, conforme os critérios elencados e seus pesos. Entretanto, devido às limitações da alternativa escolhida, decidiu-se manter os revestimentos das paredes de maneira otimizada e utilizar a resina epóxi nos pisos (exceto no box que será de piso-box). O método mostrou-se adequado e satisfaz a empresa parceira no que tange suas expectativas com a pesquisa.

A análise dos revestimentos monolíticos deu-se pela descrição de suas etapas e pela estimativa de produção ( $38 \text{ min}/\text{m}^2$ ). A análise dos riscos destacou aqueles voltados para o método em si (ex. erros na proporção dos componentes e desrespeito aos tempos de abertura das misturas) e para a mão de obra (ex. riscos de intoxicação durante a aplicação e a falta de experiência/treinamento dos operários), mas o sistema epóxi elencou menos riscos de método do que o sistema cerâmico. Também foram descritas as forças (ex. juntas inexistentes e menor geração de resíduos), as fraquezas (ex. custos iniciais elevados e mão de obra especializada), as oportunidades (ex. expansão do mercado e melhor produtividade) e as ameaças (ex. concorrência dentre materiais alternativos e dependência de mão de obra/fornecedores especializados).

Por fim, mostrando a possibilidade de uma inovação incremental, foi proposta uma melhoria/otimização do método tradicional. As estratégias apresentadas foram voltadas para a mão de obra (ex. adotar mão de obra própria ao invés de empreitada, estabelecendo metas vinculadas a bônus) e para as ferramentas (ex. uso de desempenadeira dentada angular e ventosas vibratórias) utilizadas no processo. Também foi realizado um estudo de paginação/modulação, o qual comparou

resultados tradicionais com a redução das dimensões das placas (de 45 x 45 cm para 40 x 40 cm) e alteração nas dimensões dos cômodos, gerando menor número de cortes nos serviços. A redução dos cortes das placas levou a uma possibilidade de redução em cerca de 90% dos resíduos gerados no banheiro e na cozinha; e uma potencial redução do tempo de serviço de quase 20% na cozinha e 30% no banheiro. Em uma edificação de 240 unidades, isso reduziria a demanda total de tempo de serviço de 1826 horas para 1425 horas ( $7 \text{ min/m}^2$ ).

Quanto às limitações/dificuldades do presente trabalho, destaca-se a cronometragem de cada etapa na construção do MFV que se deu em apenas duas visitas, não representando adequadamente a variabilidade existente de todo o método construtivo. A dificuldade em coletar dados com a empresa parceira também limitou os resultados, visto que os números apresentados estão em termos de produção e não de produtividade. Já em relação ao *Fuzzy-TOPSIS*, a complexidade esteve em organizar uma forma de apresentar as soluções e o método para os(as) tomadores(as) de decisão, além de inseri-los(as) no método a fim de conseguir um resultado coerente. Apesar da diversidade dentre os setores ter sido um ponto positivo, as prioridades dos profissionais participantes servem como um viés na tomada de decisão. Além disso, a falta de dados específicos para basear a tomada de decisão quanto ao desempenho de cada alternativa nos critérios estabelecidos tornou a avaliação um tanto subjetiva.

Como sugestão para trabalhos futuros ficam as melhorias acima das limitações da pesquisa, além de novas formas de melhor detalhar quantitativa e qualitativamente os processos; o uso de outras ferramentas de ordenação para comparação de resultados; a variação dos tomadores de decisão (trazendo usuários, por exemplo); a análise do ciclo de vida em relação aos custos e às emissões de dióxido de carbono; e a aplicação do *framework* em outros sistemas e métodos construtivos.

Por fim, conclui-se que o presente projeto alcançou seus objetivos, e a metodologia proposta foi adequada para diagnosticar, selecionar e propor melhorias para o sistema construtivo em questão. A pesquisa tem poder de contribuir com a comunidade acadêmica através da divulgação científica, transferência de tecnologias, qualificação de recursos humanos e fortalecimento da construção civil. Acredita-se

que o *framework* de seleção de sistemas construtivos e as alternativas levantadas para revestimentos de áreas expostas à água são úteis tanto para a empresa parceira quanto para outras construtoras do ramo, aprimorando a eficiência e a sustentabilidade da construção civil brasileira.

## REFERÊNCIAS

ABDI. **Relatório de avaliação dos esforços para implantação da Coordenação Modular no Brasil**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). Brasília, p. 80. 2008.

ABNT. **NBR 13754 - Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1996a.

ABNT. **NBR 13753 - Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1996b.

ABNT. **NBR 8953 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2015.

ABNT. **NBR 15575-3 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2021a.

ABNT. **NBR 15575-4 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2021b.

ABNT. **NBR 16055 - Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2022.

ABNT. **NBR 15575-1 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2024.

ABNT. **NBR 15873 - Coordenação modular para edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro, p. 56. 2024.

ABRASFE. Indicadores de produtividade na construção civil: saiba como a tecnologia pode ajudar. **ABRASFE**, 2023. Disponível em:

<<https://abrasfe.org.br/blog/indicadores-de-produtividade-na-construcao-civil-saiba-como-a-tecnologia-pode-ajudar/#:~:text=A%20Raz%C3%A3o%20Unit%C3%A1ria%20de%20Produ%C3%A7%C3%A3o,produtividade%20da%20m%C3%A3o%20de%20obra.>>. Acesso em: 03 fevereiro 2025.

AG RESINAS. Porcelanato Líquido. **AG Resinas**, 2024. Disponível em: <<https://www.resinasag.com.br/porcelanato-liquido/kit-porcelanato-liquido-metalico/kit-porcelanato-liquido-metalico-laranja-profundo-ag-por-m>>. Acesso em: 12 agosto 2024.

AKBARI, P. et al. Identification of building façade functions by using fuzzy TOPSIS. **Space Ontology International Journal: Architecture, Urban Design and Planning**, Tehran, 2020. 37-45.

AL ZUBAYER, A.; ALI, S. M.; KABIR, G. Analysis of supply chain risk in the ceramic industry using the TOPSIS method under a fuzzy environment. **Journal of Modelling in Management**, Dhaka, agosto 2019. 792-815.

ALKASAR, B. E.; YAHYA, H. A. A Comparative analysis of design criteria influencing building material selection across different architectural contexts. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, Mossul, 31 outubro 2023. 3117-3124.

ALWAFI, A. A. M. Sustainable material selection criteria framework for environmental building enhancement. **American Journal of Civil Engineering and Architecture**, Meca, 20 março 2022. 31-44.

AMADIO, L. Como construir: instalação de banheiros prontos. **Téchne**, São Paulo, 2010. 78-84.

ANFACER. História da cerâmica. **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER)**, 2023a. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/historia-da-ceramica>>. Acesso em: 05 maio 2024.

ANFACER. Números do setor cerâmico. **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres**, 2023b.

Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>>. Acesso em: 11 março 2024.

ANFACER. **ANFACER Panorama 2024**. Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER). [S.l.]. 2024.

ATHANASOPOULOS, G.; RIBA, C. R.; ATHANASOPOULOS, C. A decision support system for coating selection based on fuzzy logic and multi-criteria decision making. **Expert Systems with Applications**, Catalonia, outubro 2009. 10848-10853.

AVELINO, A. D. et al. **The factors that influence productivity during the activity of lining in small vertical buildings in Brazil: a case study**. 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). Florence: Springer. 11 agosto 2018. p. 76-85.

BASTOS, C. G. C. **Avaliação da Razão unitária de Produção de uma obra da cidade de Uberlândia - MG**. Universidade Federal de Uberlândia (Trabalho de Conclusão de Curso). Uberlândia, p. 28. 2020.

BAYMONT BATH. Galery. **Baymont Bath**, 2019. Disponível em: <<https://www.baymontbath.com/gallery>>. Acesso em: 20 setembro 2024.

BAYMONT BATHWARE. Baymont tile wall install. **YouTube - Canal "Baymont Bathware"**, 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=5Q5UeNxrGqE&t=22s>>. Acesso em: 15 setembro 2024.

BESTERFIELD, D. H. et al. **Total quality management**. 3<sup>a</sup>. ed. Nova Déli: Pearson, 2012.

BNDES. **Panorama do setor de revestimentos cerâmicos no Brasil**. Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES). [S.l.]. 2013.

BOVO, C. K. Aplicação da análise ambiental (SWOT) no planejamento de um projeto de construção civil: um estudo de caso. **Revista Humanidades e Inovação**, Palmas, 2016. 259-268.

BYLAARDT, M. P. et al. A origem da cerâmica. **Associação Brasileira de Cerâmica**, 2024. Disponível em: <<https://abceram.org.br/a-origem-da-ceramica/#>>. Acesso em: 05 maio 2024.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Minha Casa, Minha Vida - Faixa I. **Caixa Econômica Federal**, 2023. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/faixa-l/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 03 fevereiro 2025.

CARDOSO FIBRAS. Instalação piso box para banheiro. **YouTube - Canal "Cardoso Fibras"**, 2021. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=qyZ\\_5fMEYsw&t=3s&ab\\_channel=CardosoFibras](https://www.youtube.com/watch?v=qyZ_5fMEYsw&t=3s&ab_channel=CardosoFibras)>. Acesso em: 15 setembro 2024.

CARLOS, E. Instalação de piso vinílico em banheiros. **YouTube - Canal "Eliei Carlos"**, 2021. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=fXKAJx2ZapE&t=74s&ab\\_channel=ElieiCarlos](https://www.youtube.com/watch?v=fXKAJx2ZapE&t=74s&ab_channel=ElieiCarlos)>. Acesso em: 15 setembro 2024.

CAVAGNARO, E.; CURIEL, G. H. **The three levels of sustainability**. 2<sup>a</sup>. ed. Londres: Routledge, 2023.

CBIC. **Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Brasília, p. 92. 2017. (978-85-00000-00-0).

CELITE. Piso box de aço esmaltado. **Celite**, 2022. Disponível em: <<https://www.celite.com.br/produtos/piso-box-aco-esmaltado-CEP36720?sku=CEB2006P3BR0>>. Acesso em: 20 setembro 2024.

CERAMFIX. Produtos: Ferramentas. **Ceramfix**, 2024. Disponível em: <<https://www.ceramfix.com.br/produtos?category=ferramentas>>. Acesso em: 12 agosto 2024.

CERAMICS OF BRAZIL. Números do setor cerâmico. **Ceramics of Brazil**, 2023. Disponível em: <<https://www.ceramicsofbrazil.com/setor-ceramico/numeros-do-setor>>. Acesso em: 25 julho 2024.

CHEN, C.-T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, Taichung, agosto 2000. 1-9.

CIPRIANO, P. Passo a passo do piso de porcelanato líquido na cozinha. **YouTube - Canal "Paloma Cipriano"**, 2022. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=kD\\_WXYSewqc&t=296s&ab\\_channel=PalomaCipriano](https://www.youtube.com/watch?v=kD_WXYSewqc&t=296s&ab_channel=PalomaCipriano)>. Acesso em: 15 setembro 2024.

CMC MODULAR. Banheiro pronto. **CMC Modular**, 2024. Disponível em: <<https://cmcmódulos.com.br/projetos/banheiro-pronto-tegra-incorporadora/>>. Acesso em: 12 agosto 2024.

CUNHA, M. L. Proposta de melhoria para o processo de revestimento cerâmico de fachada com base nos conceitos e nas ferramentas da mentalidade enxuta. **Repositório UFRN**, Natal, 2020. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40472/1/TCC\\_Mariah%20Liberato.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40472/1/TCC_Mariah%20Liberato.pdf)>. Acesso em: 15 abril 2024.

DECNO FLOORING. How to install SPC flooring? **YouTube - Canal "Decno Flooring"**, 2021. Disponível em: <<https://youtu.be/ZNQPL-jalqE?si=Lynb5OhTH9GfRcDX>>. Acesso em: 15 setembro 2024.

DICHEL, T. D. et al. **Produtividade da mão de obra para o serviço de revestimento**. XII Encontro Mineiro de Engenharia de Produção (Emepro). Juiz de Fora: Emepro. 2018. p. 1-12.

DUMAS, M. et al. **Fundamentals of business process management**. 2ª. ed. Berlim: Springer, 2018.

ESPERANTE, F. M. D. A.; FERRARI, D. O. A. **Azulejaria brasileira e sustentabilidade**. 8º Encontro SENAC de Conhecimento Integrado: Educação, Trabalho e Inovação. São José do Rio Preto: SENAC. 2019. p. 46-53.

EXPO REVESTIR. Quem somos. **Expo Revestir 2024**, 2024. Disponível em: <<https://www.exporevestir.com.br/quem-somos>>. Acesso em: 25 julho 2024.

FERREIRA, J. C. et al. **A aplicação do mapeamento de fluxo de valor na construção de um empreendimento residencial predial**. Contribuições da

Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil. João Pessoa: XXXVI ENEGEP. 2016.

FIBO UK. Fibo Wall Panel installation guidance. **YouTube - Canal "Fibo UK"**, 2020. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=ACdEvFno9Nk&ab\\_channel=FiboUK](https://www.youtube.com/watch?v=ACdEvFno9Nk&ab_channel=FiboUK)>. Acesso em: 15 setembro 2024.

FIGUEIREDO, K. et al. Sustainable material choice for construction projects: a life cycle sustainability assessment framework based on BIM and Fuzzy-AHP. **Building and Environment**, Rio de Janeiro, 4 abril 2021. 107805-.

FONSECA, T. G. D. **Análise de perdas por making-do na execução de revestimento cerâmico interno por meio de metodologias de controle da qualidade e produção**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Monografia). Porto Alegre. 2023.

FRANÇA, L. C. A. D. N.; LINS, T. L. D. A. **Estratégias na redução do custo da não qualidade na indústria da construção civil**. Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Igarassu (Trabalho de Conclusão de Curso). Igarassu, p. 19. 2021.

FREITAS, S. S. D. **Análise da gestão da qualidade em relação a existência de problemas pós ocupação em edifícios residenciais: revisão**. Universidade Federal de Minas Gerais (Monografia de Especialização). Belo Horizonte. 2023.

FULFORD, R.; STANDING, C. Construction industry productivity and the potential for collaborative practice. **International Journal of Project Management**, Perth, fevereiro 2014. 315-326.

HAGHSHENAS, S. S. et al. The risk assessment of dam construction projects using fuzzy TOPSIS (Case study: Alavian Earth Dam). **Civil Engineering Journal**, Rasht, abril 2016. 158-167.

HONORATO, T. B. Prefabricated elements and their advantages in the physical-financial schedule. **Research, society and development**, 11, 2022.

HWANG, C.-L.; YOON, K. P. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. 1ª. ed. Berlim: Springer-Verlag, 1981.

INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MOLDURAS SANTA LUZIA LTDA. Veja como é fácil instalar os revestimentos da Coleção Nero. **YouTube - Canal "Indústria e Comércio de Molduras Santa Luzia LTDA"**, 2024. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=PgJ9eODyaz0&t=57s&ab\\_channel=Ind%C3%B3striaeCom%C3%A9rciodeMoldurasSantaLuziaLTDA](https://www.youtube.com/watch?v=PgJ9eODyaz0&t=57s&ab_channel=Ind%C3%B3striaeCom%C3%A9rciodeMoldurasSantaLuziaLTDA)>. Acesso em: 15 setembro 2024.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. 1ª. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2013.

KABLAN. How to install magnetic porcelain tiles? **Kablan**, 2024. Disponível em: <<https://www.kablan.ca/how-to-install>>. Acesso em: 15 setembro 2024.

KINGSPAN ISOESTE. **Manual de instalação - Ribbon**. Kingspan Isoeste. [S.l.]. 2024.

KOTLER, P.; KELLER, K. L.; CHERNEV, A. **Marketing management**. 16ª. ed. Londres: Pearson, 2022.

LEE, Q.; SNYDER, B. **The strategos guide to value stream and process mapping: genesis of manufacturing strategy**. 1ª. ed. Bellingham: Enna Products Corporation, 2006.

LEITE, B. C. C. **Proposta de indicadores de qualidade aplicado à construção civil: um estudo de caso**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Trabalho de Conclusão de Curso). Angicos, p. 49. 2022.

LICO. Hydro Fix. **LICO Swiss Quality Floors**, 2024. Disponível em: <<https://lico.ch/en/product/design-floors/hydro-fix/>>. Acesso em: 20 setembro 2024.

LIMA JÚNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, São Carlos, 17-34 março 2015.

LINHARES, T. B. **Tomada de decisão do design de interiores face às influências da oferta de materiais favoráveis à sustentabilidade**. Universidade Federal de Minas Gerais (Dissertação de Mestrado). Belo Horizonte, p. 16-95. 2020.

LORDSLEEM JR., A. C.; PINHO, S. A. C. **Educação continuada em Engenharia para a qualificação profissional**: o Programa de Indicadores de Desempenho de tecnologias construtivas da Comunidade de Construção. XIII International Conference on Engineering and Technology Education. Guimarães: COPEC. 2014. p. 289-293.

MAGHSOODI, A. I.; KHALILZADEH, M. Identification and evaluation of construction projects' critical success factors employing fuzzy-TOPSIS approach. **KSCE Journal of Civil Engineering**, Tehran, 2018. 1593-1605.

MARTELLI, A. et al. Análise de metodologias para execução de pesquisas tecnológicas. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, 24 março 2020. 468-477.

MARTINS, B. Como limpar banheiro: um guia completo para a sua faxina! **Casa Vogue**, 2022. Disponível em: <<https://casavogue.globo.com/Smart/noticia/2022/03/como-limpar-banheiro-um-guia-completo-para-sua-faxina.html>>. Acesso em: 23 julho 2024.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. 3ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. Programa MAI/DAI. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnpq/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/programa-mai-dai>>. Acesso em: 26 julho 2024.

NADOUSHANI, Z. S. M. et al. Multi-criteria selection of façade systems based on sustainability criteria. **Building and Environment**, Sydney, 8 maio 2017. 67-78.

NAKAMURA, J. Parede de concreto: vantagens e características. **Sienge**, 2019. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/parede-de-concreto/>>. Acesso em: 23 julho 2024.

NAPOLI, L.; SOUZA, M. Cerâmica: a mais antiga das indústrias. **Associação Nacional da Indústria Cerâmica**, 2015. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/revista-anicer/revista-96/historia/>>. Acesso em: 05 maio 2024.

NATIONAL Geographic. **Cerâmica, uma história com 9 mil anos**, 2020. Disponível em: <[https://www.nationalgeographic.pt/historia/ceramica-uma-historia-com-9-mil-anos\\_2098](https://www.nationalgeographic.pt/historia/ceramica-uma-historia-com-9-mil-anos_2098)>. Acesso em: 05 maio 2024.

QUARTZOLIT. Como nivelar contrapiso com acabamento irregular. **Quartzolit**, 2025. Disponível em: <<https://www.quartzolit.weber/pisos/como-nivelar-contrapiso-com-acabamento-irregular>>. Acesso em: 27 fevereiro 2025.

RAMANI, P. V.; LINGAN, L. K. Application of lean in construction using value stream mapping. **Engineering, Construction and Architectural Management**, Vellore, 17 dezembro 2019. 216-228.

REDDY, A. S.; KUMAR, P. R.; RAJ, P. A. Preference based multi-criteria framework for developing a Sustainable Material Performance Index (SMPI). **International Journal of Sustainable Engineering**, Warangal, 7 março 2019. 390-403.

REDELEASE. Passo a passo porcelanato líquido com resina epóxi. **YouTube - Canal "Redelease"**, 2019. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=cZb7YTT1kCs&t=263s&ab\\_channel=Redelease](https://www.youtube.com/watch?v=cZb7YTT1kCs&t=263s&ab_channel=Redelease)>. Acesso em: 15 setembro 2024.

RESOLVE DECORA. Faça Você Mesmo - Papel de parede adesivo vinílico geométrico. **YouTube - Canal "Resolve Decora"**, 2024. Disponível em: <<https://www.youtube.com/shorts/0kv5CIVTgMQ>>. Acesso em: 15 setembro 2024.

ROCA BRASIL. Manual de instalação - Piso box. **Roca Brasil**, 2024. Disponível em: <<https://posvendasroca brasil.zendesk.com/hc/pt-br/articles/15670966828691-Manual-de-Instala%C3%A7%C3%A3o-Piso-Box>>. Acesso em: 15 setembro 2024.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo para agregar valor e eliminar desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision: méthodes et cas**. 1<sup>a</sup>. ed. Paris: London School of Economics and Political Science, 1993.

SAELI, M. et al. Selection of novel geopolymeric mortars for sustainable construction applications using fuzzy TOPSIS approach. **Sustainability**, Palermo, 2020. 1-15.

SEBRAE. Hora de refletir e fazer o planejamento 2023! **SEBRAE**, 2022. Disponível em: <<https://sebraepr.com.br/comunidade/artigo/hora-de-refletir-e-fazer-o-planejamento-2022>>. Acesso em: 07 fevereiro 2025.

SHAHPARI, M. et al. Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method. **Journal of Building Engineering**, Tehran, 12 outubro 2019. 100979-.

SILVA, H. F. **Mapeamento do processo para o controle de assentamento de revestimento cerâmico**. Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Jataí (Trabalho de Conclusão de Curso). Jataí, p. 62. 2021.

SILVA, M. N. P. D. et al. Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. **Caderno de graduação: ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, maio 2015. 87-97.

SILVA, M. N. P. D. et al. Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, Maceió, maio 2015. 87-97.

TAHERDOOST, H.; MADANCHIAN, M. Multi-Criteria Decision Making (MCDM): methods and concepts. **Encyclopedia**, Vancouver, 9 janeiro 2023. 77-87.

TEIXEIRA, T. S. J. O uso da cerâmica nos revestimentos na construção civil. **Jusbrasil**, 2022. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/artigos/o-uso-da-ceramica-nos-revestimentos-na-construcao-civil-tema-escolhido-em-razao-das-pericias-de-avaliacao-imobiliaria-das-acessoes-e-benfeitorias/1685326880>>. Acesso em: 23 julho 2024.

VALADÃO, I. A evolução e versatilidade dos revestimentos cerâmicos. **Revista Casa e Jardim**, 2021. Disponível em: <<https://revistacasaejardim.globo.com/Casa-e-Jardim/Colunistas/Iza-Valadao/noticia/2021/06/evolucao-e-versatilidade-dos-revestimentos-ceramicos.html>>. Acesso em: 23 julho 2024.

VARGAS, F. B. D. **Módulos de banheiros e cozinhas pré-fabricados que visam a economia de água com foco em edificações**. Universidade Federal de Santa Maria (Trabalho de Conclusão de Curso). Santa Maria. 2015.

VIEIRA, A. W. **Análise do ciclo de vida de revestimento cerâmico**. Universidade do Extremo Sul Catarinense (Tese de Doutorado). Criciúma. 2022.

WETWALL. Installation info? (we have it wall-to-wall). **Wetwall**, 2024. Disponível em: [https://www.wetwall.com/media/wysiwyg/Wetwall-Foundation/resources/videos/Wetwall\\_InstallContent\\_Installation\\_1080x1920\\_v4a.mp4](https://www.wetwall.com/media/wysiwyg/Wetwall-Foundation/resources/videos/Wetwall_InstallContent_Installation_1080x1920_v4a.mp4). Acesso em: 15 setembro 2024.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changed the world**. 1ª. ed. Nova York: Free Press, 2007.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, Berkeley, 1965. 338-353.

ZADEH, L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, janeiro 1973. 28-44.

## APÊNDICE A – MATRIZES DE DECISÃO TRADUZIDAS RELATIVAS A CADA SETOR DA EMPRESA PARCEIRA

**Tabela 35 - Matriz de decisão traduzida relativa ao setor de Produtos**

Solução	C1 - Custo Material			C2 - Custo Aplicação			C3 - Manutenibilidade			C4 - Durabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	3,75	6,25	8,13	1,88	4,38	6,88	1,25	3,13	5,63	5,00	7,50	8,75
S2 - Pré-Fabricados	1,88	4,38	6,88	1,88	4,38	6,88	6,25	8,75	10,00	5,00	7,50	9,38
S3 - Modulares	0,63	1,88	4,38	0,00	1,88	4,38	4,38	6,88	9,38	4,38	6,88	9,38
S4 - Colagem	3,13	5,63	8,13	4,38	6,88	8,75	4,38	6,88	9,38	3,13	5,63	7,50
S5 - Encaixe	1,25	3,75	6,25	3,13	5,63	7,50	3,75	5,63	7,50	2,50	4,38	6,88
S6 - Colagem-Encaixe	0,63	3,13	5,63	1,25	3,75	6,25	3,13	5,63	8,13	1,88	4,38	6,88
S7 - Magnéticos	0,63	2,50	5,00	1,88	3,75	5,63	3,13	5,00	6,88	1,25	3,13	5,63
Solução	C5 - Aceitação dos Clientes			C6 - Sustentabilidade			C7 - Compatibilidade			C8 - Potencial de Compra		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	4,38	6,88	8,75	3,13	5,63	8,13	5,63	8,13	10,00	5,00	7,50	9,38
S2 - Pré-Fabricados	3,75	6,25	8,75	4,38	6,88	9,38	1,25	3,75	6,25	3,13	5,00	6,88
S3 - Modulares	3,75	6,25	8,75	4,38	6,88	9,38	1,25	1,88	4,38	0,63	2,50	5,00
S4 - Colagem	3,75	6,25	8,13	3,75	6,25	8,75	2,50	5,00	7,50	3,75	6,25	8,75
S5 - Encaixe	3,13	5,63	8,13	3,13	5,63	8,13	3,13	5,63	8,13	1,25	3,75	6,25
S6 - Colagem-Encaixe	2,50	5,00	7,50	3,13	5,63	8,13	3,13	5,63	8,13	1,25	3,75	6,25
S7 - Magnéticos	2,50	5,00	7,50	3,13	5,63	8,13	2,50	5,00	7,50	0,63	1,88	4,38

**Fonte: Autor (2024)**

**Tabela 36 - Matriz de decisão traduzida relativa ao setor de Suprimentos**

Solução	C1 - Custo Material			C2 - Custo Aplicação			C3 - Manutenibilidade			C4 - Durabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
S2 - Pré-Fabricados	0,00	2,50	5,00	0,00	2,50	5,00	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
S3 - Modulares	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	5,00	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
S4 - Colagem	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
S5 - Encaixe	0,00	2,50	5,00	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00	10,00	5,00	7,50	10,00
S6 - Colagem-Encaixe	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	5,00	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50
S7 - Magnéticos	0,00	2,50	5,00	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00	10,00	5,00	7,50	10,00
Solução	C5 - Aceitação dos Clientes			C6 - Sustentabilidade			C7 - Compatibilidade			C8 - Potencial de Compra		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	2,50	5,00	7,50	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
S2 - Pré-Fabricados	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	0,00	0,00	2,50
S3 - Modulares	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	5,00
S4 - Colagem	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
S5 - Encaixe	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00
S6 - Colagem-Encaixe	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50
S7 - Magnéticos	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50	0,00	2,50	5,00

Fonte: Autor (2024)

**Tabela 37 - Matriz de decisão traduzida relativa ao setor de Orçamento**

Solução	C1 - Custo Material			C2 - Custo Aplicação			C3 - Manutenibilidade			C4 - Durabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	2,50	5,00	7,50	5,00	7,50	10,00	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50
S2 - Pré-Fabricados	0,00	2,50	5,00	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
S3 - Modulares	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
S4 - Colagem	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50	0,00	2,50	5,00
S5 - Encaixe	0,00	2,50	5,00	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
S6 - Colagem-Encaixe	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50
S7 - Magnéticos	0,00	2,50	5,00	0,00	2,50	5,00	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50
Solução	C5 - Aceitação dos Clientes			C6 - Sustentabilidade			C7 - Compatibilidade			C8 - Potencial de Compra		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50	7,50	10,00	10,00	2,50	5,00	7,50
S2 - Pré-Fabricados	2,50	5,00	7,50	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50
S3 - Modulares	2,50	5,00	7,50	5,00	7,50	10,00	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	5,00
S4 - Colagem	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
S5 - Encaixe	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50	0,00	2,50	5,00
S6 - Colagem-Encaixe	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50	0,00	2,50	5,00
S7 - Magnéticos	0,00	2,50	5,00	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50	0,00	0,00	2,50

Fonte: Autor (2024)

## APÊNDICE B – MATRIZ NORMALIZADA DE DECISÃO

**Tabela 38 - Matriz normalizada de decisão**

Solução	C1 - Custo Material			C2 - Custo Aplicação			C3 - Manutenibilidade			C4 - Durabilidade		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	0,32	0,64	0,92	0,35	0,65	0,96	0,13	0,30	0,57	0,41	0,69	0,90
S2 - Pré-Fabricados	0,12	0,44	0,76	0,12	0,35	0,65	0,53	0,80	1,00	0,48	0,76	1,00
S3 - Modulares	0,04	0,12	0,44	0,00	0,19	0,50	0,43	0,70	0,97	0,45	0,72	1,00
S4 - Colagem	0,36	0,68	1,00	0,42	0,73	1,00	0,43	0,70	0,97	0,31	0,59	0,83
S5 - Encaixe	0,08	0,40	0,72	0,19	0,50	0,77	0,47	0,70	0,87	0,34	0,59	0,86
S6 - Colagem-Encaixe	0,04	0,28	0,60	0,15	0,46	0,77	0,30	0,57	0,83	0,24	0,52	0,79
S7 - Magnéticos	0,04	0,32	0,64	0,12	0,38	0,65	0,37	0,60	0,77	0,28	0,52	0,79
Solução	C5 - Aceitação dos Clientes			C6 - Sustentabilidade			C7 - Compatibilidade			C8 - Potencial de Compra		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
S1 - Monolíticos	0,39	0,68	0,93	0,35	0,61	0,87	0,59	0,84	1,00	0,48	0,76	1,00
S2 - Pré-Fabricados	0,43	0,71	1,00	0,48	0,74	1,00	0,06	0,31	0,56	0,24	0,41	0,66
S3 - Modulares	0,43	0,71	1,00	0,48	0,74	1,00	0,06	0,09	0,34	0,03	0,28	0,55
S4 - Colagem	0,36	0,64	0,89	0,39	0,65	0,90	0,31	0,56	0,81	0,41	0,69	0,97
S5 - Encaixe	0,32	0,61	0,89	0,35	0,61	0,87	0,34	0,59	0,84	0,07	0,34	0,62
S6 - Colagem-Encaixe	0,29	0,57	0,86	0,35	0,61	0,87	0,34	0,59	0,84	0,14	0,41	0,69
S7 - Magnéticos	0,29	0,57	0,86	0,42	0,68	0,94	0,25	0,50	0,75	0,03	0,17	0,45

**Fonte: Autor (2024)**