Universidade Federal do Rio Grande Do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil:
Construção e Infraestrutura

Raquel Hoffmann Reck

Proposta de Uso da Modelagem Semântica para Representação de Dados Estruturados no Controle da Produção

Porto Alegre
2026

RAQUEL HOFFMANN RECK

PROPOSTA DE USO DA MODELAGEM SEMÂNTICA PARA REPRESENTAÇÃO DE DADOS ESTRUTURADOS NO CONTROLE DA PRODUÇÃO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil

Prof. Eduardo Luis Isatto
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Porto Alegre
2026

RAQUEL HOFFMANN RECK

PROPOSTA DE USO DA MODELAGEM SEMÂNTICA PARA REPRESENTAÇÃO DE DADOS ESTRUTURADOS NO CONTROLE DA PRODUÇÃO

Esta Tese de Doutorado foi julgada como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL, área de pesquisa Gestão e Economia da Construção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 06 de março de 2026

Prof. Eduardo Luis Isatto
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Prof. Lélio Antônio Teixeira Brito
Coordenador PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Torres Formoso (UFRGS)
Doutor pela Universidade de Salford, Inglaterra

Prof. Fernanda Lustosa Leite (UT-Austin)
Doutora pela Universidade de Carnegie Mellon, USA

Prof. Elvira Maria Vieira Lantelme (IMED)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha afilhada, Melissa, cuja curiosidade e brilho me lembram, todos os dias, que o conhecimento é também um ato de coragem — e que sonhar grande é o primeiro passo para realizá-lo.

AGRADECIMENTOS

Uma trajetória de longos oito anos. Na construtora, quando ainda atuava no setor de planejamento, cada interação com o controle da produção despertava ainda mais meu interesse pelo tema desta tese. Ficava fascinada ao observar como cada engenheiro conseguia lembrar, em detalhes, o que acontecia em suas frentes de trabalho e, ao mesmo tempo, percebia o quanto essas decisões dependiam da experiência prévia, especialmente quando não havia informações estruturadas para apoiá-las. Dessa vivência, deixo meu agradecimento a Carlos Theisen, Rafael Lomando, Roberto Sukster, Luiz Medeiros, Nicolas Costa, Camila Flach, Rodrigo Beltrame, Leandro Beltrão e Lúcia Saldanha, por todo o aprendizado compartilhado. Um agradecimento especial a Leonardo Martins, por me ensinar a manter a melhoria contínua e a construção enxuta em primeiro plano, mesmo em um ambiente corporativo competitivo e marcado por constantes desafios de prazo. Sou igualmente grata a Natalie Paz e Andrea Jacques, que foram muito mais do que colegas de trabalho — uma verdadeira rede de apoio e confiança.

Com esse impulso, candidatei-me ao doutorado no PPGCI/UFRGS e sou profundamente grata ao programa pelo suporte à realização deste trabalho. Agradeço ao meu orientador, Prof. Eduardo Luis Isatto, pela atenção, paciência e dedicação, mas, sobretudo, por acreditar neste projeto e apoiar sua concretização até o fim.

Durante as disciplinas e a preparação para o doutorado-sanduíche pelo Programa PRINT/CAPES, tive a sorte de dividir essa jornada com Fernanda Brandalise e Fernanda Saidelles, amigas e doutoras que me inspiraram e me acompanharam nesta etapa. Agradeço também à Prof.ª Fernanda Lustosa Leite, da University of Texas at Austin, pelo acolhimento e apoio ao meu trabalho em seu grupo de pesquisa.

Pouco depois de chegar a Austin, a pandemia paralisou o mundo. Foram tempos difíceis, e sou grata à CAPES por manter o benefício concedido, mesmo diante da incerteza. Nesse período, entre o virtual e o real, encontrei apoio em pessoas muito especiais: Gabriela Giacobbo, Josana Wesz, Juliana Parise, Ana Carolina de Lucca e Renata Fontanelli — a minha melhor turma do mestrado, que se transformou em uma rede de apoio e terapia constante. Agradeço ainda a Luciana, Alzimeri, Verinha e Cíntia — nos conhecemos por acaso nessa vida — mas a amizade permanece.

De volta ao Brasil, iniciei a fase mais intensa de coleta de dados. Agradeço novamente à CAPES pelo novo benefício de bolsa de doutorado, e, de forma muito especial, aos profissionais Luiz Franzão, Cleiton Cardoso, Isabel Ortiz, Rodrigo Ugioni, Ailton Silvano, Dionatan Magnus, Mateus Fernandes, Ricardo Bongiolo, Ricardo Fermo, Richard Bruch e Rodrigo Xavier, pela abertura, disponibilidade e valiosas trocas ao longo das etapas desta pesquisa.

Com a coleta concluída, iniciei a consolidação da tese e retornei àquilo que sempre me moveu: a consultoria e o ensino. Sou imensamente grata aos colegas de doutorado que se tornaram meus líderes e parceiros de jornada, Bernardo Etges e Marcus Fireman, por acreditarem no meu trabalho e me apoiarem esta reta final. Também a Manoela Conte por compartilhar das etapas de consolidação do texto da tese. Agradeço a todos os colegas da Climb Consulting Group e professores da CON.TECH, por me inspirarem diariamente a aplicar os princípios do Lean na prática, especialmente a Bruno Ribeiro, Gustavo Bridi, Enrico Pieta, Renato Pellegrino, Bianca Trentin, Mayra Murta, Fernanda Pimentel, Melissa Freitas, Lucas Branco, Bruna Gonçalves, Angela Saggin, Sergio Kemmer, Bruno Mota, Márcia Codecco, Rogério Suzuki, Cassiano Bronholo, Celso Guimarães, Claudio Ferreira, Ester Amorin, João Paulo Pierre, Leonardo Vier, Lucas Assunção, Lucas Henrique Nascimento, Lucas Macalister, João Grigoleto, Luís Staudt, Maria Gabriela Guimarães, Pedro Bonkowski, Sergio Oliveira e Lara Tosta.

Agradeço também aos colegas do NORIE e do GEC, pelo suporte e companheirismo em toda a trajetória, especialmente a Daniela Dietz, Jordana Bazzan, Bárbara Pedó, Bruna Brenner, Cibele Leão, Gabriela Rocha, Caroline Giordini, Cynthia Hentschke, Douglas Hamerski, Eduarda Scott Hood, Esther Carvalho, Fabiana Bonesi, Fabrício Vargas, Gabriela Medeiros, Guilherme Canzian, Iamara Bulhões, Ismael Weber, Jerusa Rodrigues, Karina Barth, Louise Amaro, Luciana Miron, Sintique Freire, Thais Alves, Vanessa da Cunha e Natália Ransolin. Vocês me inspiram constantemente pela aquisição de conhecimento.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo ensino de excelência e pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa. A todas as pessoas e organizações que, direta ou indiretamente, tornaram este trabalho possível, deixo meu sincero agradecimento.

Por fim, à minha família, por compreender que meu caminho é o ensino, a pesquisa e a consultoria e por me apoiar desde a graduação, durante o TCC, o mestrado e, agora, no doutorado, para a concretização deste sonho.

You live, you learn
You love, you learn

Alanis Morissette

RESUMO

RECK, Raquel Hoffmann. **Proposta de uso da Modelagem Semântica para Representação de Dados Estruturados no Controle da Produção**. 2026. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2026.

A transformação digital na construção civil vem redefinindo a forma como as empresas estruturam e utilizam suas informações. Nesse cenário, o *Building Information Modeling* (BIM) e o *Last Planner System* (LPS) surgem como instrumentos complementares para integrar o planejamento e o controle da produção, ampliando o potencial de contextualização, interpretação e reutilização das informações entre projetos. Sob a lente da sociomaterialidade, esta pesquisa compreende a aprendizagem como um processo distribuído, configurado pela interação entre tecnologias e agentes, no qual os artefatos digitais mediam o conhecimento que se constrói na prática. Entretanto, a digitalização, embora amplie o acesso a dados, não garante sua contextualização nem sua reutilização entre projetos. A ausência de uma estrutura semântica compartilhada mantém os sistemas de controle fragmentados, dificultando a interpretação das informações no contexto do trabalho. A literatura recente em LPS e BIM destaca avanços na automação e na interoperabilidade, mas ainda carece de modelos capazes de representar semanticamente os dados de controle e de conectá-los à aprendizagem organizacional. Essa lacuna evidencia a necessidade de estruturas que articulem dimensões conceituais (ontologia e vocabulário) e práticas (uso em campo), permitindo que os dados gerados nas obras possam ser interpretados dentro de seu contexto produtivo e comparados entre diferentes projetos. A partir dessa lacuna, o objetivo geral consiste em propor um modelo semântico para a estruturação de dados do planejamento e controle da produção em projetos de construção, de modo a viabilizar sua interpretação como informações contextualizadas, capazes de sustentar processos de aprendizagem organizacional. A pesquisa adota *Design Science Research* (DSR) como estratégia metodológica, estruturada em quatro etapas: formalização (etapa 1), estruturação (etapa 2), contextualização da aprendizagem organizacional (etapa 3) e consolidação do artefato final (etapa 4). Foram conduzidos dois estudos empíricos: um retrospectivo, com análise de dados de obras concluídas em uma empresa com práticas maduras de LPS, e outro interventivo, com implantação e avaliação de um sistema simplificado de informação em obras ativas, orientado pela sociomaterialidade das práticas. O artefato resultante é composto por quatro constructos — a unidade de controle por facetas (C1), vocabulário controlado para as facetas (C2), hierarquia da unidade de controle (C3) e contextualização semântica (C4) — organizados em um modelo conceitual e um modelo operacional em notação ERD. O modelo operacional viabiliza consultas e análises por vínculos contextualizados, configurando um ciclo de aprendizagem a partir dos dados. As avaliações do artefato indicaram completude e comparabilidade dos registros, assim como institucionalização de práticas do LPS sob as lentes da sociomaterialidade. Já taxa de contextualização semântica, desenvolvida nesta pesquisa, demonstrou potencial como indicador da maturidade informacional e da capacidade organizacional de aprendizado. Conclui-se que a contextualização semântica dos dados constitui um mecanismo essencial para estruturar e interpretar informações do planejamento e controle da produção, permitindo sua reutilização em diferentes projetos e sustentando processos de aprendizagem organizacional.

Palavras-chave: Sociomaterialidade. Last Planner System. BIM. Modelagem Semântica**.**

ABSTRACT

RECK, Raquel Hoffmann. **Semantic Modeling of Representation of Structured Data in Production Control**. 2026. Doctoral Thesis (Doctoral in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, School of Engeneering, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2026.

Digital transformation in the construction industry has been reshaping the way organizations structure and use information. In this context, Building Information Modeling (BIM) and the Last Planner System (LPS) emerge as complementary approaches to integrate production planning and control, enhancing the potential for contextualizing, interpreting, and reusing information across projects. From a sociomaterial perspective, this research understands organizational learning as a distributed process shaped by the interaction between technologies and human agents, in which digital artifacts mediate the knowledge constructed through practice. However, although digitalization expands access to data, it does not ensure their contextualization or reuse across projects. The absence of a shared semantic structure keeps production control systems fragmented, making it difficult to interpret information within the context of work. Recent literature on LPS and BIM highlights advances in automation and interoperability but still lacks models capable of semantically representing production control data and linking them to organizational learning. This gap highlights the need for structures that integrate conceptual dimensions (ontology and controlled vocabulary) with practical dimensions (field use), enabling construction data to be interpreted within their production context and compared across projects. To address this gap, the main objective of this research is to propose a semantic model for structuring production planning and control data in construction projects, enabling their interpretation as contextualized information capable of supporting organizational learning processes. The research adopts the Design Science Research (DSR) methodology, structured into four stages: formalization (Stage 1), structuring (Stage 2), organizational learning contextualization (Stage 3), and the final artifact consolidation (Stage 4). Two empirical studies were conducted: a retrospective study based on data from completed projects in a company with mature LPS practices, and an intervention study involving the implementation and evaluation of a simplified information system in ongoing projects, guided by the sociomaterial practices of planning practices. The resulting artifact comprises four constructs—faceted control unit (C1), controlled vocabulary for the facets (C2), control unit hierarchy (C3), and semantic contextualization (C4)—organized into a conceptual model and an operational model using Entity-Relationship Diagram (ERD) notation. The operational model enables contextualized queries and analyses, establishing a learning cycle based on production control data. The artifact evaluations indicated completeness and comparability of records, as well as the institutionalization of LPS practices from a sociomaterial perspective. Furthermore, the semantic contextualization rate, developed in this research, demonstrated potential as an indicator of informational maturity and organizational learning capability. It is concluded that semantic contextualization constitutes an essential mechanism for structuring and interpreting production planning and control information, enabling its reuse across projects while supporting organizational learning processes.

Keywords: Sociomaterial Practices. Last Planner System. BIM. Semantic Modeling

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: fluxo de detalhamento da unidade de controle do LPS 38
Figura 2: correlação entre normas, instancias do BIM e padrões de compartilhamento 50
Figura 3: hierarquia de herança do IFC 51
Figura 4: notação de cardinalidade em diagramas ERD 53
Figura 5: modelo mental dos elementos da sociomaterialidade e suas relações 60
Figura 6: interação entre funções de gestão 64
Figura 7: comparação hierárquica da estrutura de dados recomentada na literatura 70
Figura 8 - delineamento da pesquisa 77
Figura 9 - estrutura organizacional da empresa N 80
Figura 10 - estrutura organizacional da empresa F 89
Figura 11 - cronograma de atividades no EE2 – etapa 2 93
Figura 12 - eventos de avaliação segundo a FEDS 99

Figura 13 - plano de longo prazo a obra E17 108
Figura 14 – plano de ataque da Obra E17 109
Figura 15 – visualização da linha de balanço na obra E17 110
Figura 16 – parametrização do plano de longo prazo para linha de balanço 111
Figura 17 – visualização médio prazo com o cronograma atualizado na obra E17 111
Figura 18 – visualização lista de restrições no MS Project na obra E17 112
Figura 19 – programação semanal obra E17 113
Figura 20 – plano de longo prazo da obra E22 114
Figura 21 – plano de ataque na Oba E22 115
Figura 22 – linha de balanço na Obra E22 116
Figura 23 – programação semanal obra E22 117
Figura 24 – modelagem 4D da obra E22 no ArchiCAD 118
Figura 25 - hierárquica mapeada do cronograma da obra E17 119
Figura 26 – hierarquia no cronograma da obra E17 120
Figura 27 - hierárquica mapeada do cronograma da obra E22 120
Figura 28 – hierarquia da obra E22 121
Figura 29 – diagrama de ERD para controle de produção e qualidade 122
Figura 30 – procedimento operacional 123
Figura 31 – aba de registro dos indicadores por semana 124
Figura 32 – barra de ferramentas no MS Project 124

Figura 33 – previsão de entrega da obra E22 125
Figura 34 - hierárquica desenvolvida com a OmniClass™ 128
Figura 35 - hierárquica dos locais dos projetos E22 e E17 conforme padrões do IFC 129
Figura 36 - compilação inicial das informações em ERD 131
Figura 37 - ERD do EE1 final 137
Figura 38 – modelo relacional dos constructos no EE1 140
Figura 39 - mapa do estado atual do planejamento e controle da produção na empresa 151
Figura 40 - cronograma de longo prazo na empresa 154
Figura 41 – elaboração do longo prazo pela linha de balanço 155
Figura 42 - análise dos desvios das obras 157
Figura 43 - ERD do EE2 158
Figura 44 - estrutura de relacionamento de softwares utilizado 159
Figura 45 – trecho do diagrama de predecessoras 163
Figura 46 - segmentação dos locais para infraestrutura de loteamento 165
Figura 47 - códigos padronizados por projeto para a faceta de local 165
Figura 48 - estruturação dos WP, restrições e causas no sistema de informação 166
Figura 49 – planilha padronizada de longo 168
Figura 50 – criação da base de dados a partir da LOB 169
Figura 51 - trecho da definição do escopo de trabalho na faceta de processo para a obra 4 169
Figura 52 - trecho da definição do escopo de trabalho na faceta de processo para a obra 4 170
Figura 53 – planilha de médio e curto 171
Figura 54 - implantação do médio prazo 172
Figura 55 – implantação do curto prazo 173
Figura 56 - estrutura relacional para o relatório integrado no BI 176
Figura 57 - visualizações gráficas do relatório integrado – curto prazo 177
Figura 58 - visualizações gráficas do relatório integrado – médio prazo 178
Figura 59 - visualização de informações do protocolo 7 181
Figura 60 – facetas semânticas e descrições livres de médio prazo 183
Figura 61 – delimitação de lotes de produção da fachada em planta baixa 184
Figura 62 – acompanhamento do fluxo de trabalho no médio prazo da obra 4 185
Figura 63 - reunião de médio prazo obras 186
Figura 64 - reuniões de curto prazo nas obras 4 e 7 187
Figura 65 – uso do plano de curto prazo pelo engenheiro da obra 4 - restrições de curto prazo 188
Figura 66 - uso das ferramentas na obra 8 189

Figura 67 - análise dos desvios das obras 191
Figura 68 - taxa de registros corretos por etapa do projeto 195
Figura 69 - taxa de registros incorretos por obra 196
Figura 70 – exemplo de hierarquia de processo – obra 4 204
Figura 71 - exemplo de hierarquia de local – obra 4 205
Figura 72 - ERD EE2 parte 2 210
Figura 73 – metadados da programação de atribuição por plano 212
Figura 74 – planejado vs. executado 214
Figura 75 – programação de longo e médio prazo 214
Figura 76 – identificação de restrições 215
Figura 77 – desvio de resolução de restrições de projeto de interiores das obras 216
Figura 78 – programação do médio e identificação de causas 216
Figura 79 – análise entre obras por tipo de causa 218
Figura 80 – modelo relacional entre constructos 221
Figura 81 – taxa de contextualização semântica 227
Figura 82 – estrutura geral do artefato. 230
Figura 83 – modelo conceitual 233
Figura 84 – modelo operacional 236

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - descrição da amostra e fontes de evidências 83
Tabela 2 - caracterização da experiência dos 17 usuários no estudo da empresa F 90
Tabela 3 - descrição dos 19 projetos no EE2 92
Tabela 4 – consultas dos status das unidades de controle 139
Tabela 5 - percentual de PT com a combinação de processo, elemento e local 143
Tabela 6 - avaliação de terminologia controlada pela precisão e impacto 144
Tabela 7 - avaliação do PCP no diagnóstico 152
Tabela 8 - avaliação do PCP após implantação e manutenção 192
Tabela 9 - importância das informações para o desempenho da sua função 194
Tabela 10 - taxa de registros corretos por usuário 197
Tabela 11 - atratividade percebida pelos usuários A, F, J, L, N 198
Tabela 12 – nível de detalhamento e agrupamento das unidades de controle 224

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - principais críticas ao modelo de controle tradicional 32
Quadro 2 - requisitos para um novo modelo de controle 33
Quadro 3 - diferenças entre modelo de termostato e LPS 36
Quadro 4 - práticas do LPS e seus elementos relacionados 41
Quadro 5 - características básicas para o design conceitual 44
Quadro 6 - ontologia, sintaxe e semântica de acordo com o design conceitual 45
Quadro 7 - elementos básicos da sociomaterialidade 58
Quadro 8 - dinâmica da sociomaterialidade 61
Quadro 9 - constructos que fundamentam o artefato de modelagem semântica proposto 73
Quadro 10 - resultados deste trabalho 76
Quadro 11 - planejamento e controle da produção por sistemas 80
Quadro 12 - descrição dos casos da empresa N 81
Quadro 13 – fontes de evidência de observação participante 84
Quadro 14 – fontes de evidência de estudos anteriores desenvolvidos na empresa N 85
Quadro 15 - atividades desenvolvidas no diagnóstico do EE1 87
Quadro 16 - atividades desenvolvidas na estruturação e processamento de dados no EE1 88
Quadro 17 - descrição das tipologias construtivas dos projetos no EE2 91
Quadro 18 - fontes de evidência descritas de acordo com as etapas do EE2 94
Quadro 19 - tipos de observação participante realizadas de acordo com as etapas do EE2 95
Quadro 20 - atividades desenvolvidas no EE2 – etapa 3 96
Quadro 21 - categorias de avaliação por resultado da DSR 98
Quadro 22 – correlação entre resultados da DSR, categorias de avaliação e eventos 100
Quadro 23 - parâmetros de avaliação da completude no EE1 101
Quadro 24 - parâmetros de avaliação no diagnóstico do EE2 103
Quadro 25 – parâmetros de avaliação de eficiência no EE2 104
Quadro 26 - parâmetros de avaliação dos impactos no ambiente e usuários 106
Quadro 27 – parâmetros de avaliação da completude no EE2 107
Quadro 28 – definição de unidade de controle pela OmniClass™ e estrutura de local 127
Quadro 29 – propriedades de cada entidade das facetas 130
Quadro 30 – propriedades de cada entidade do ERD inicial 132
Quadro 31 – exemplo típico da limpeza de caracteres da unidade de controle 133
Quadro 32 - transposição da cadeia de caracteres em linhas 133
Quadro 33 - revisão e classificação dos termos em significado 134

Quadro 34 - classificação dos termos em facetas 135
Quadro 35 – exemplo de unidades de controle por pacote de trabalho original 135
Quadro 36 - classificação de unidades de controle de atividades de apoio a produção 136
Quadro 37 – propriedades de cada entidade do ERD final 138
Quadro 38 – descrição das relações entre constructos no EE1 142
Quadro 39 – proposição de hierarquia no âmbito da organização e de projeto 146
Quadro 40 – dificuldades relatadas nas entrevistas e implicações para a implementação do sistema de informações 149
Quadro 41 – resumo das ações identificada no diagnóstico para a implantação do sistema simplificado 160
Quadro 42 – resumo das ações identificada no diagnóstico quanto a institucionalização de práticas do LPS 162
Quadro 43 – trecho dos códigos padronizados para a faceta de processo 164
Quadro 44 – propriedades de cada entidade do ERD do EE2 149
Quadro 45 – etapas de consultas do protocolo 7 180
Quadro 46 – resumo das hierarquias discutidas neste trabalho 202
Quadro 47 – propriedades da entidade de processo 204
Quadro 48 – propriedades da entidade de local 206
Quadro 49 – exemplos de detalhamento ou agrupamento de processo 207
Quadro 50 – exemplos de detalhamento ou agrupamento de local 208
Quadro 51 – propriedades da entidade de pacote de trabalho e relação entre pacotes 209
Quadro 52 – fluxo de trabalho do reboco interno no 2 pavimento 213
Quadro 53 - restrições identificadas e registradas 215
Quadro 54 – causas identificadas 217
Quadro 55 – resumo das consultas realizadas nessa sessão 200
Quadro 56 – avanços alcançados por constructo no EE2 220
Quadro 57 – descrição das relações entre constructos no EE1 222
Quadro 58 – descrição das relações entre constructos 234
Quadro 59 – propriedades dos pacotes de trabalho no ERD 237
Quadro 60 – propriedades das atribuições no ERD 239

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BI – *Business Intelligence*

BIM – *Building Information Modeling*

BPMN – *Business Process Model and Notation*

CAD – *Computer-Aided Design*

C1 – Unidade de Controle por Facetas

C2 – Vocabulário Controlado para as Facetas

C3 – Hierarquia de Controle da Unidade de Controle

C4 – Contextualização Semântica da Unidade de Controle

CP – Curto Prazo

DSR – *Design Science Research*

EE1 – Estudo Empírico 1

EE2 – Estudo Empírico 2

ERD – *Entity–Relationship Diagram* (Diagrama de Entidade-Relacionamento)

IFC – *Industry Foundation Classes*

ISO – *International Organization for Standardization*

FEDS - *Framework for Evaluation in Design Science*

LOB – Linha de Balanço

LP – Longo Prazo

LPS – *Last Planner System*

MP – Médio Prazo

OmniClass™ – Sistema de classificação norte-americano baseado na ISO 12006

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

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PT – Pacote de Trabalho

TCS – Taxa de Contextualização Semântica

UC – Unidade de Controle

Uniformat® – Sistema de classificação por elementos funcionais de construção

WS – *Workshop*

WBS – *Work Breakdown Structure (*Estrutura Analítica de Projeto)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21
1.1 CONTEXTO DE PESQUISA 21
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA 24
1.3 PRESSUPOSTO 27
1.4 SÍNTESE DO PROBLEMA DE PESQUISA 28
1.5 QUESTÕES DE PESQUISA 28
1.6 OBJETIVOS DA PESQUISA 29
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO 29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 31
2.1 CONTROLE DA PRODUÇÃO 31
2.1.1 Crítica ao Modelo de Controle Tradicional 31
2.1.2 Controle no Last Planner System (LPS) 34
2.2 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS DA ESTRUTURA DE DADOS NA PRODUÇÃO 41
2.2.1 Relação entre Dados, Informação e Conhecimento 41
2.2.2 Ontologia, Sintaxe e Semântica na Modelagem da Informação 44
2.3 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL 46
2.3.1 Natureza e Tipos de Dados na Construção Civil 46
2.3.2 Vocabulário Controlado e Interoperabilidade 48
2.3.3 Modelagem Semântica de Dados 51
2.3.4 Ferramentas Analíticas e Business Intelligence 53
2.4 APRENDIZAGEM ORGANIZACIONAL E SOCIOMATERIALIDADE 55
2.4.1 Fundamentos da Aprendizagem Organizacional na Construção 56
2.4.2 A Dinâmica das Práticas em Ambientes Sociomateriais 57
2.4.3 LPS como Mecanismo de Aprendizagem 62
2.5 CONSTRUCTOS EMERGENTES QUE INTEGRAM O CONTROLE DA PRODUÇÃO À APRENDIZAGEM ORGANIZACIONAL 64
2.5.1 Definição da Unidade de Controle como uma Combinação de Facetas 67
2.5.2 Vocabulário Controlado para Expressar as Facetas 68
2.5.3 Estruturas Hierárquicas em Diferentes Níveis de Controle 69
2.5.4 Contextualização Semântica para Apoio à Tomada de Decisão 71
2.5.5 Construtos que fundamentam o artefato proposto 73
3 MÉTODO DE PESQUISA 73
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA 73

3.2 DELINEAMENTO 76
3.2.1 Etapa 1: Formalização da Aprendizagem 78
3.2.2 Etapa 2: Estruturação da Aprendizagem 78
3.2.3 Etapa 3: Contextualização da Aprendizagem 78
3.2.4 Etapa 4: Proposição do Artefato Final 79
3.3 ESTUDOS EMPÍRICOS E FONTES DE EVIDÊNCIAS 79
3.3.1 Estudo Empírico 1 (EE1) 79
3.3.1.1 Descrição da Empresa N e Sistema de Planejamento e Controle da Produção 79
3.3.1.2 Descrição dos Empreendimentos E17 e E22 81
3.3.1.3 Fontes de Evidências 82
3.3.1.3.1 Analise Documental 82
3.3.1.3.2 Observação Participante 83
3.3.1.3.3 Dados secundários 85
3.3.1.4 Etapa 1: Descrição das Atividades Realizadas 85
3.3.2 Estudo Empírico 2 (EE2) 88
3.3.2.1 Descrição da Empresa F 88
3.3.2.2 Descrição dos Empreendimentos 90
3.3.2.3 Etapa 2: Descrição das Atividades Realizadas e Fontes de Evidências 92
3.3.2.4 Etapa 3: Descrição das Atividades Realizadas e Fontes de Evidências 96
3.4 AVALIAÇÃO E REFLEXÕES DO ARTEFATO 97
3.4.1 Etapa 1: Avaliação da Formalização da Aprendizagem na Organização (EE1) 100
3.4.2 Etapa 2: Avaliação da Estruturação da Aprendizagem na Organização (EE2) – Diagnóstico 102
3.4.3 Etapa 2: Avaliação da Estruturação da Aprendizagem na Organização (EE2) - Eficiência 103
3.4.4 Etapa 2 Avaliação da Estruturação da Aprendizagem na Organização (EE2) – Impactos no Ambiente/Usuários 104
3.4.5 Etapa 3: Avaliação da Contextualização da Aprendizagem nos Projetos (EE2) 107
4 FORMALIZAÇÃO DA APRENDIZAGEM 108
4.1 SISTEMA DE LAST PLANNER DA EMPRESA 108
4.1.1 Linguagem e Vocabulário 108
4.1.1.1 Obra E17 108
4.1.1.2 Obra E22 114
4.1.2 Hierarquia das Unidades de Controle 119
4.1.2.1 Obra E17 119
4.1.2.2 Obra E22 120

4.1.3 Registro das informações de Status 123
4.1.4 Considerações sobre o sistema LPS implantado 125
4.2 APLICAÇÃO DOS CONTRUCTOS 126
4.2.1 Definição das Facetas e Linguagem Formalizada 127
4.2.2 Definição da Hierarquia 127
4.2.3 Estruturação dos Dados em Notação de ERD 130
4.2.4 Tratamento das Unidades de Controle 132
4.2.5 Registro do Status das Unidade de Controle em Estrutura Relacional de Dados Unificada 136
4.2.6 Considerações sobre a Aplicação dos Constructos 139
4.3 ARTEFATO DESENVOLVIDO NO EE1 140
4.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO NO EE1 142
4.4.1 Quanto a definição da UC em facetas 142
4.4.2 Quanto a Terminologia Controlada para cada Faceta 143
4.4.3 Quanto a Hierarquia das UC pelas Normas Padronizadas 145
4.4.4 Quanto ao Registro dos Status das UC 146
5 ESTRUTURAÇÃO DA APRENDIZAGEM 148
5.1 DIAGNÓSTICO E PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO 148
5.1.1 Dificuldades Relatadas nas Entrevistas e como serão Tratadas na Implementação. 148
5.1.2 Mapa do Estado Atual 150
5.1.3 Avaliação das Práticas de PCP Aplicadas 152
5.1.4 Análise da Ferramenta de Programação Atual e Simulação na Linha de Balanço .. 153
5.1.5 Avaliação da Efetividade do Sistema Atual pela Análise de Desvios 156
5.1.6 Direcionamento do Sistema Simplificado de Informação 158
5.1.7 Direcionamento da Implantação das Práticas de LPS 161
5.2 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO 163
5.2.1 Definição das Facetas para as Unidade de Controle 163
5.2.1.1 Faceta de Processo 163
5.2.1.2 Faceta de Local 164
5.2.2 Definição das Estrutura de Códigos Padrão para PT, Causas e Restrições 166
5.2.3 Implantação dos Níveis Hierárquicos 167
5.2.3.1 Longo Prazo 167
5.2.3.2 Médio e Curto Prazo 170
5.2.3.3 Resumo da Implementação dos Níveis Hierárquicos 173
5.2.4 Relatório Integrado de Obras 175

5.2.5 Protocolo de Troca de Informações entre Níveis Hierárquicos 179
5.3 USO DO SISTEMA DE CONTROLE SIMPLIFICADO COMO APARATO SOCIOMATERIAL NAS ROTINAS DO LPS 181
5.3.1 Apropriação da análise crítica do conjunto de dados 181
5.3.2 Apropriação e recombinação criativa nas rotinas de médio e curto prazo 182
5.3.3 Recombinação criativa no planejamento e controle dos fluxos físicos 184
5.3.4 Agência distribuída na remoção de restrições e tomada de decisão 185
5.3.5 Estabilização de práticas de curto prazo 187
5.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO NO EE2 189
5.4.1 Eficiência técnica do artefato aplicado pela Análise de Desvios 190
5.4.2 Impacto do artefato no ambiente e usuários 191
5.4.2.1 Avaliação das Práticas Institucionalizadas 191
5.4.2.2 Avaliação do Reconhecimento de Adequação 193
5.4.2.3 Avaliação da Capacidade dos Usuários em Operar o Sistema 194
5.4.2.4 Avaliação da Proteção Frente a Erros de Usuários 195
5.4.2.5 Avaliação da Capacidade de Aprender o Produto 196
5.4.2.6 Avaliação do Engajamento dos Usuários 198
6 CONTEXTUALIZAÇÃO DA APRENDIZAGEM 200
6.1 ESTRUTURAÇÃO SEMÂNTICA DE HIERARQUIAS ENTRE FACETAS E PACOTES DE TRABALHO 200
6.1.1 Definição da Hierarquia de Processo 203
6.1.2 Definição da Hierarquia de Local 204
6.1.3 Definição de Hierarquias nos Pacotes de Trabalho 206
6.1.4 Estruturação dos Dados em Notação de ERD 209
6.2 APOIO Á TOMADA DE DECISÃO POR MEIO DE DADOS CONTEXTUALIZADOS 212
6.3 ARTEFATO DESENVOLVIDO NO EE2 220
6.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO NO EE2 223
6.4.1 Quanto a Hierarquia das Unidades de Controle 224
6.4.2 Quanto a Contextualização Semântica dos Dados 226
7 APRESENTAÇÃO DO ARTEFATO 229
7.1 VISÃO GERAL DO ARTEFATO 229
7.2 CONSTRUCTOS 231
7.2.1 Unidade de controle pela combinação de facetas (C1) 231
7.2.2 Vocabulário controlado para expressar as facetas (C2) 232
7.2.3 Hierarquia em diferentes níveis de controle (C3) 232

7.2.4 Contextualização semântica para apoio à tomada de decisão (C4) 232
7.3 MODELO CONCEITUAL 233
7.4 MODELO OPERACIONAL 235
7.5 CONTRIBUIÇÕES PRÁTICAS E TEÓRICAS DO ARTEFATO 241
7.5.1 Evolução dos sistemas de controle da produção 241
7.5.2 O LPS e a aprendizagem organizacional 242
7.5.3 Lacunas metodológicas e avanços em relação a sistemas LPS e BIM 243
7.5.4 Considerações Finais 244
8 CONCLUSÕES 246
8.1 RESPOSTA À QUESTÃO PRINCIPAL DE PESQUISA 246
8.2 RESPOSTA ÀS QUESTÕES SECUNDÁRIAS 247
8.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA 249
8.4 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS 249
REFERÊNCIAS 250
APÊNDICE A – SISTEMA DE CONTROLE DA PRODUÇÃO 261
APÊNDICE B - ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA: DIAGNÓSTICO EE2 263
APÊNDICE C - ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA EE2 PÓS IMPLEMENTAÇÃO 265
APÊNDICE D – CÓDIGOS PADRONIZADOS PARA PROCESSO 267
APÊNDICE E – HIERARQUIA DE PROCESSO DA OBRA 4 270
APÊNDICE F – HIERARQUIA DE LOCAL DA OBRA 4 273

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o contexto e a justificativa do tema proposto, delineando os pressupostos, o problema de pesquisa, as questões de investigação e os objetivos do estudo. O trabalho está ancorado em uma abordagem sociomaterial, que reconhece a produção como um campo configurado pela interação indissociável entre artefatos digitais (como o *Building Information Modeling,* BIM), práticas organizacionais e agentes humanos. Além disso, explora-se o papel da modelagem semântica dos dados como estratégia fundamental para estruturar a informação de controle da produção de forma acessível e reutilizável. Essas abordagens são aplicadas ao contexto do *Last Planner System* (LPS), com o objetivo de aprimorar os ciclos de controle e aprendizagem no contexto da digitalização da construção civil.

1.1 CONTEXTO DE PESQUISA

A construção civil vem passando por um expressivo processo de transformação digital impulsionado pelo avanço tecnológico e pela adoção crescente de ferramentas digitais para o controle da produção. Esse movimento tem redefinido a forma como as empresas operam e gerenciam seus processos. Relatórios sobre a transformação digital no Brasil indicam que empresas com maior maturidade digital apresentam um crescimento de EBITA[1] até três vezes superior ao das demais (McKinsey & Company, 2019). Nesse contexto, a digitalização na construção civil pode ser entendida não apenas como uma modernização dos processos, mas como um fator estratégico que impacta diretamente a rentabilidade das empresas do setor.

Contudo, a digitalização não se limita a mudanças ostensivas e planejadas, mas também desencadeia efeitos colaterais menos visíveis que podem reconfigurar normas institucionais e a forma como a informação é estruturada e utilizada (Orlikowski; Scott, 2023). No controle da produção, tecnologias como o BIM são adotadas para aumentar a eficiência e, consequentemente, melhorar a lucratividade das empresas. Além disso, o BIM representa a evolução dos sistemas de CAD 3D paramétrico para modelos semânticos capazes de integrar

[1] Earnings Before Interest, Taxes, and Amortization (EBITA) é uma métrica financeira que mede a rentabilidade de uma empresa. É utilizada por investidores para comparar empresas do mesmo setor. O EBITA é calculado a partir do lucro líquido de uma empresa, subtraindo os juros, impostos e amortização.

informações geométricas, funcionais e operacionais ao longo do ciclo de vida da construção (Adebiyi; Ajenifuja; Zhang, 2024). Essa transição ampliou o potencial dos modelos digitais, permitindo o desenvolvimento de gêmeos digitais para o monitoramento em tempo real da produção (Adebiyi; Ajenifuja; Zhang, 2024). O BIM não apenas acompanha essa transformação digital, mas se torna um pilar essencial desse avanço, ampliando as possibilidades de planejamento, execução e controle da produção. Embora a digitalização traga avanços, ela também altera padrões tradicionais e práticas institucionais. Por isso, é essencial compreender não apenas seus benefícios imediatos, mas também os desafios estruturais envolvidos. A reorganização dos fluxos de informação deve ser planejada para garantir a otimização do controle da produção.

Mesmo com os avanços na digitalização, o setor ainda enfrenta dificuldades na estruturação dos dados, comprometendo sua utilização no controle da produção. Por ser composta por projetos não repetitivos, a construção civil enfrenta dificuldades na padronização e adoção de tecnologias digitais em larga escala (Sawhney; Riley; Irizarry, 2020). Esse cenário gera três tipos de fragmentação (Sawhney; Riley; Irizarry, 2020):

a) vertical, que separa fases do ciclo de vida do projeto e gera silos de dados;
b) horizontal, que impede a troca eficaz de conhecimento entre equipes, causando redundâncias e retrabalho; e
c) longitudinal, que dificulta a consolidação de aprendizados entre projetos, perpetuando falhas recorrentes.

A etapa de construção caracteriza-se por alta variabilidade e incerteza operacional, demandando integração entre planejamento, execução e controle para assegurar fluxo produtivo e confiabilidade dos dados (Sacks; Girolami; Brilakis, 2020). A conversão desses padrões em regras digitais ainda é um grande desafio para a automação (Sacks; Girolami; Brilakis, 2020). Do exposto, depreende-se que, para que a transformação digital seja eficaz, é preciso adotar estratégias que integrem a organização nos diferentes níveis vertical, horizontal e longitudinal. Isso permitirá extrair e reutilizar dados do controle da produção, convertendo-os em conhecimento aplicável a prática profissional.

As práticas de controle, entretanto, não são apenas moldadas por decisões humanas, mas co-produzidas pela materialidade dos sistemas digitais adotados. A partir da lente sociomaterial, compreende-se que o controle da produção é continuamente reconfigurado pela interação entre

agentes (planejadores, mestres, empreiteiros, etc.), tecnologias e condições locais (Orlikowski, 2000). Nesse sentido, a transformação digital não apenas automatiza fluxos, mas redefine os significados atribuídos aos dados, as formas de coordenação e os critérios de avaliação utilizados nas rotinas produtivas. Essas transformações, embora muitas vezes sutis, promovem mudanças graduais em normas e práticas institucionais consolidadas, reconfigurando valores, padrões e modos de cooperação (Orlikowski; Scott, 2023).

Assim, esta pesquisa adota a sociomaterialidade para orientar a compreensão de como tecnologias, como o BIM e os sistemas de controle da produção baseados no LPS, se entrelaçam às práticas organizacionais, sendo apropriadas, reinterpretadas e transformadas ao longo do tempo. Essa perspectiva permite observar a coprodução entre tecnologia e prática, reconhecendo que a eficácia dos sistemas digitais depende de sua capacidade de ser reconfigurada em uso e não apenas de seu desenho técnico. A partir dessa visão, a modelagem semântica proposta neste trabalho é entendida como um artefato sociomaterial, cujo papel não se restringe a estruturar dados, mas a mediar processos de aprendizagem organizacional e a tornar o conhecimento operacional acessível e reutilizável.

Essas mudanças também impõem desafios à aprendizagem dos profissionais, exigindo a revisão das formas como o conhecimento é construído e disseminado. A estrutura epistemológica predominante na construção civil ainda privilegia uma lógica platônica, baseada na abstração e no conhecimento teórico-dedutivo, em detrimento da aprendizagem empírica e indutiva, que é essencial para resolver problemas situados no ambiente produtivo (Koskela *et al.*, 2019). Em contraste, o *Lean Construction* propõe uma epistemologia aristotélica, centrada no aprendizado prático e experiencial, que permite ajustes rápidos e melhoria contínua por meio da ação reflexiva ao longo do fluxo de trabalho (Koskela *et al.*, 2019). Essa tensão entre abordagens teóricas e práticas se intensifica no contexto da digitalização, uma vez que as ferramentas tradicionais de ensino e capacitação não dão suporte aos impactos indiretos e menos visíveis dessa transformação (Orlikowski; Scott, 2023).

Assim, para que os ciclos de controle da produção sejam efetivos para resolver os problemas dos projetos e organizações, é necessário mais do que a adoção de tecnologias: é fundamental integrá-las às rotinas produtivas por meio de novas metodologias de aprendizagem, capazes de sustentar o desenvolvimento de conhecimento situado e compartilhado.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Tradicionalmente, os modelos de controle da produção na construção civil adotam abordagens centralizadas e reativas. Esses modelos assumem que o planejamento pode antecipar todas as variáveis do ambiente produtivo (Johnston; Brennan, 1996). Assim, estruturam um controle detalhado e simbólico, no qual o agente atua separado da realidade do canteiro (Johnston; Brennan, 1996). No entanto, essas abordagens apresentam limitações, pois pressupõem que todas as condições necessárias para a execução da tarefa estarão disponíveis no momento da autorização de início da atividade (Koskela; Howell, 2002), desconsiderando a possibilidade de indisponibilidade de insumos e a necessidade de coordenação entre equipes. Além disso, restringem a gestão da produção à simples autorização sequencial de tarefas, sem considerar as condições reais do canteiro de obras (Koskela; Howell, 2002). Também assumem que os processos ocorrem de maneira estática e previsível, de modo que qualquer variação negativa é tratada como uma não conformidade a ser corrigida, enquanto variações positivas são ignoradas, impedindo o aprendizado com os desvios e a experimentação científica (Ballard; Howell, 1996; Koskela *et al.*, 2017). Por fim, a ausência de um controle proativo faz com que os gestores tomem decisões baseadas apenas em relatórios agregados de custo e tempo, que podem ser manipuláveis, e não na realidade dinâmica do canteiro (Koskela; Howell, 2001). Como consequência, esses modelos se mostram inadequados para promover ciclos de controle que permitam a adaptação contínua ao longo da produção e a consolidação de mudanças estruturais.

Diante das limitações dos modelos tradicionais de controle da produção, o LPS surge como uma abordagem alternativa fundamentada nos princípios do *Lean Construction* (Ballard, 2000), promovendo ciclos curtos de controle e aprendizado contínuo (Koskela *et al.*, 2019). O LPS é um sistema de planejamento e controle da produção desenvolvido para aumentar a confiabilidade dos planos e promover a melhoria contínua (Ballard, 2000). Estruturado em ciclos sucessivos, que conectam o planejamento de longo, médio e curto prazo, o LPS busca alinhar compromissos entre as equipes e reduzir incertezas na execução das atividades (Ballard, 2000). Nesse contexto, o LPS não apenas aprimora a gestão da produção, mas também estrutura os dados do controle, permitindo um acompanhamento sistemático do progresso das atividades. Para isso, o LPS se baseia em dois mecanismos principais (Ballard, 2000):

a) a unidade de controle, que define quais elementos da produção devem ser monitorados, e

b) a mudança de status dessa unidade (sob os status de Deve, Pode, Será e Feito), permitindo avaliar a evolução do trabalho e identificar desvios.

Além disso, sua abordagem prática e experiencial (Koskela *et al.*, 2019), aliada à valorização do papel dos últimos planejadores (Ballard; Howell, 1998), favorece um ambiente de aprendizado contínuo, no qual esses profissionais refinam suas decisões com base nos ciclos curtos de controle. Dessa forma, o LPS não apenas realiza o controle da produção, mas também atua como uma estrutura conceitual para utilizar dados em conhecimento aplicado. No entanto, para que esse conhecimento possa ser aplicável entre diferentes projetos e planejadores, é necessário um suporte tecnológico adequado, capaz de estruturar os dados de forma a representar adequadamente as informações geradas no controle da produção.

Segundo Floridi (2019), os dados representam diferenças ou lacunas no estado de um sistema, ou seja, são elementos brutos e não interpretados que, isoladamente, carecem de significado. Quando esses dados são bem formados e semanticamente estruturados, tornam-se informações, pois passam a expressar relações coerentes e interpretáveis dentro de um contexto (Floridi, 2019). A informação, portanto, é dado com sentido, cuja veracidade e estrutura permitem que ela seja comunicável e útil (Floridi, 2019). Por fim, quando essa informação é contextualizada, validada e incorporada à prática, transforma-se em conhecimento, entendido como informação semanticamente relevante e justificada, capaz de orientar a ação e o aprendizado organizacional (Floridi, 2019).

Entretanto, para que um sistema digital baseado no LPS possa mediar as práticas de trabalho de diferentes grupos de últimos planejadores, a sua estrutura deve estar:

a) conceitualmente clara (ontologia) — definindo quais entidades compõem o domínio de informação, suas relações e limites, de modo que o sistema represente de forma explícita o que existe e deve ser controlado;

b) formalmente organizada (sintaxe) — estabelecendo regras, categorias e hierarquias que permitam a codificação padronizada dos dados e a coerência estrutural entre diferentes planos e registros; e

c) interpretável dentro da prática contextualizada (semântica) — assegurando que os significados atribuídos às informações reflitam o uso que os planejadores fazem delas no cotidiano da produção, favorecendo a aprendizagem organizacional e a tomada de decisão informada.

Essa distinção entre ontologia, sintaxe e semântica segue o modelo de integração informacional proposto por Floridi (2019), no qual a qualidade da informação depende da coerência entre estrutura, forma e significado.

No entanto, conforme argumenta Orlikowski (2008), a estrutura tecnológica não é um elemento fixo e estático, mas algo continuamente moldado pela prática dos usuários, ou práticas sociomateriais. A tecnologia é apropriada, reinterpretada e modificada em uso, de acordo com os contextos e as interações sociais que emergem nos contextos aplicáveis. Assim, a eficácia de um sistema digital no LPS depende não apenas da sua capacidade de organizar e estruturar dados, mas também de permitir a ressignificação e adaptação desse conhecimento pelos últimos planejadores em suas atividades diárias. A partir dessa abordagem, o sistema não apenas conecta os dados da prática de forma estruturada e funcional (Floridi, 2019), mas também possibilita que sejam continuamente processados e reconfigurados pelos usuários (Orlikowski, 2000), garantindo uma gestão mais dinâmica e alinhada à melhoria contínua dos projetos e organizações.

O BIM, por sua vez, oferece funcionalidades que otimizam a conversão dos dados em informação contextualizada, ao estruturar relações entre elementos, atributos e processos do projeto. A semântica, nesse contexto, refere-se à organização do conhecimento por meio da definição de relações entre conceitos e elementos construtivos, permitindo a interpretação automatizada e a extração de informações significativas por diferentes sistemas (Beetz, 2018). Assim, é possível utilizar padrões abertos de troca de informações, como o Industry Foundation Classes (IFC), que permitem a validação automática da conformidade dos modelos e, consequentemente, a interoperabilidade entre diferentes programas computacionais e disciplinas (Borrmann *et al.*, 2018). O IFC também pode ser compreendido como uma ontologia formal, com regras sintáticas claramente definidas. Por meio do formato Web Ontology Language (OWL) e da linguagem EXPRESS, tanto as relações estruturais entre classes do IFC quanto as regras sintáticas que descrevem entidades e propriedades são expressas de forma legível por máquinas (Pauwels; Terkaj, 2016), promovendo interoperabilidade semântica e o uso do IFC como ontologia formal na indústria da construção. Dessa forma, essa estrutura confere ao BIM a capacidade de representar não apenas a geometria, mas também o significado dos elementos, suas interdependências e regras de sintaxe, possibilitando que diferentes sistemas e agentes compartilhem e reutilizem informações de maneira integrada. Assim, o

modelo se torna uma base de conhecimento comum que sustenta a coordenação entre disciplinas e a aprendizagem organizacional ao longo das fases do projeto.

No entanto, apesar dessas vantagens, desafios persistem na implementação dessa integração, como a necessidade de vocabulários controlados e taxonomias que padronizem a nomenclatura e a organização dos dados, reduzindo inconsistências e melhorando a interoperabilidade (Beetz, 2018; Royano *et al.*, 2023). A estruturação das informações por meio de vocabulários controlados e sistemas de classificação padronizados possibilita a organização lógica dos dados e a criação de modelos mais robustos e flexíveis para representar relações complexas entre diferentes elementos da construção (Beetz, 2018). Para que o BIM fomente o ambiente de aprendizagem do LPS, é necessário desenvolver modelos semânticos que organizem e padronizem os dados do controle da produção. Isso permitirá um fluxo contínuo de informações entre os agentes, os últimos planejadores, e sistemas de controle da construção civil, baseado em BIM e nos ciclos de controle do LPS.

Apesar da ampla difusão do *schema* IFC como padrão para representação de atividades, planos de trabalho e cronogramas, como as classes *IfcTask*, *IfcWorkPlan* e *IfcWorkSchedule* (ISO, 2024), ainda reflete um paradigma tradicional de controle da produção. Essas classes foram concebidas para descrever tarefas, durações e dependências de forma linear e hierárquica, coerente com os modelos determinísticos de programação de obras. No entanto, não contemplam os ciclos de planejamento colaborativo, os compromissos entre equipes e as causas de restrição que caracterizam o LPS. Essa limitação semântica impede que os dados gerados pelo LPS sejam representados e analisados de maneira integrada aos modelos BIM, restringindo o potencial de aprendizagem organizacional a partir da prática.

Nesse contexto, a lacuna de pesquisa deste trabalho consiste na ausência de uma modelagem semântica dos dados de controle compatível com o LPS e interoperável com o BIM, capaz de representar os ciclos de planejamento colaborativo, as relações de aprendizagem e o fluxo de informações do canteiro de obras com os últimos planejadores.

1.3 PRESSUPOSTO

O pressuposto que justifica o tema da pesquisa é que um sistema de informação com princípios do LPS e funcionalidades do BIM, fundamentado na modelagem semântica, pode favorecer a

interpretação dos dados de controle da produção como informações contextualizadas, apoiando processos de aprendizagem organizacional e de melhoria contínua.

1.4 SÍNTESE DO PROBLEMA DE PESQUISA

Em resumo, para que a aprendizagem derivada dos dados de controle da produção possibilite o alcance das metas organizacionais e a melhoria contínua, a solução deve ser abordada a partir de duas novas perspectivas. Primeiramente, é imprescindível que a modelagem dos dados de controle seja realizada por meio da modelagem semântica, a qual padroniza, organiza e interpreta os dados da prática, promovendo a interoperabilidade e a comparação entre projetos. Em segundo lugar, esses dados devem ser convertidos em conhecimento aplicável para a aprendizagem emergente dos ciclos curtos do LPS. Assim, ao focar na modelagem semântica da informação e em interpretação dos dados em conhecimento aplicável, torna-se possível criar um ambiente onde as organizações possam aprender de forma sistemática com os dados de controle, integrando as potencialidades do LPS e do BIM para transformar a prática da construção.

1.5 QUESTÕES DE PESQUISA

Com base no problema de pesquisa, foi definida a questão principal de pesquisa:

Como promover a aprendizagem organizacional através dos dados de controle da produção?

Como desdobramento da questão principal, foram definidas as questões secundárias:

a) Como a **unidade de controle deve ser estruturada** para promover os ciclos de controle da produção do LPS com suporte do BIM?

b) Como podemos **comparar informações** do controle da produção em um ambiente de múltiplos projetos e em níveis hierárquicos diferentes de planejamento?

c) Como podemos **explicitar a aprendizagem organizacional** obtida através do controle da produção?

1.6 OBJETIVOS DA PESQUISA

Objetivo geral da pesquisa:

Propor um modelo semântico para a estruturação de dados do planejamento e controle da produção em projetos de construção, de modo a viabilizar sua interpretação como informações contextualizadas, capazes de sustentar processos de aprendizagem organizacional.

Objetivos específicos da pesquisa:

- Propor um **modelo conceitual** para a representação dos **dados** em **informações** de um sistema de planejamento e controle da produção visando sustentar a aprendizagem organizacional a partir de diferentes projetos de uma mesma organização;
- Propor um **modelo operacional** que torne as **informações do controle da produção interpretáveis dentro da prática contextualizada**, de modo a apoiar a aprendizagem organizacional em distintos projetos de uma mesma organização.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta tese é composta por oito capítulos. O primeiro capítulo apresenta o contexto da pesquisa, descrevendo o problema abordado, a justificativa para o estudo e a delimitação do escopo. Além disso, são detalhados os objetivos da pesquisa, o pressuposto e as questões norteadoras que orientam a investigação.

No segundo capítulo, é realizada a revisão da literatura, abordando conceitos fundamentais para a compreensão do estudo. São discutidos temas como os sistemas de produção na construção civil, os desafios da gestão da produção, o uso do LPS e BIM no controle da produção, bem como estudos anteriores sobre modelagem da informação e aprendizagem organizacional.

O terceiro capítulo descreve a metodologia empregada na pesquisa, detalhando a abordagem utilizada, o delineamento dos estudos de caso e os métodos e técnicas adotados para a coleta e análise dos dados. Este capítulo visa garantir a transparência e reprodutibilidade da investigação.

Os capítulos quatro, cinco e seis apresentam os resultados obtidos através de estudos empíricos. O capítulo quatro trata da formalização da aprendizagem organizacional, explorando como o pacote de trabalho pode ser estruturado para armazenamento do conhecimento adquirido nos ciclos de controle. O capítulo cinco discute estratégias para tornar a aprendizagem ativa dentro da organização, realizado através de um estudo empírico em uma organização de múltiplos projetos residenciais. O capítulo seis aborda a interpretação dos dados de controle em aprendizado, detalhando como a modelagem da informação e o uso estruturado dos dados contribuem para a implementação efetiva do conhecimento adquirido.

No sétimo capítulo, é apresentado o artefato desenvolvido, incluindo uma análise cruzada dos resultados de cada estudo empírico e etapas desta pesquisa. São discutidas as implicações práticas do artefato e sua contribuição para o avanço do conhecimento na gestão da produção na construção civil. Por fim, o oitavo capítulo traz as conclusões da pesquisa, sintetizando os achados e destacando suas contribuições teóricas e práticas. Além disso, são apresentadas limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras, visando a continuidade do desenvolvimento do tema abordado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTROLE DA PRODUÇÃO

O foco desta seção recai sobre o controle da produção, pois é nele que se observa a coerência entre o trabalho planejado e o executado, bem como as causas das variações que afetam o desempenho da obra. O controle é o momento em que as decisões gerenciais se materializam no canteiro e evidenciam a qualidade das informações, dos pacotes de trabalho e da coordenação entre equipes. Mais do que um instrumento de acompanhamento, constitui uma função cognitiva e analítica do sistema de produção, capaz de transformar dados operacionais em conhecimento sobre o processo. É a partir dele que o sistema se retroalimenta, identificando falhas estruturais, aperfeiçoando a preparação do trabalho e promovendo a aprendizagem organizacional. Assim, enfatizar o controle é destacar o espaço onde a confiabilidade do fluxo é construída — não apenas pela correção de desvios, mas pela compreensão e eliminação de suas causas.

2.1.1 Crítica ao Modelo de Controle Tradicional

A literatura identifica dois modelos predominantes de controle da produção na gestão tradicional da construção: o modelo termostato, voltado ao ajuste de desempenho em relação ao plano (Ballard; Howell, 1996), e o modelo de despacho, relacionado à autorização de tarefas aos executores (Koskela; Howell, 2002). No primeiro, desvios em relação ao plano são tratados como falhas a serem corrigidas, mas não como oportunidades de aprendizagem (Ballard; Howell, 1996). No segundo, a gestão é reduzida à mera comunicação de ordens, sem espaço para negociação ou compromissos mútuos (Koskela; Howell, 2002).

Diversas críticas têm sido dirigidas a esses modelos. A primeira está relacionada em assumir que os insumos para uma tarefa e os recursos para executá-la estão disponíveis no momento da autorização (Koskela; Howell, 2002). Tantos estudos conceituais (Koskela, 2004) como empíricos (Fireman, 2012; Leão, 2014; Rocha, 2015; Sommer, 2010) apresentam o impacto que esse pressuposto impõe na produção, principalmente sobre os mecanismos de improvisação, já que nem todos os requisitos para iniciar e terminar uma tarefa estão disponíveis. Em segundo lugar, a ênfase em planos excessivamente detalhados resulta em

documentos que se tornam rapidamente obsoletos, desconectados da realidade do canteiro (Collyer *et al.*, 2010). Por terceiro lugar, a comunicação é concebida de forma unidirecional, ignorando o papel do compromisso do executor — ponto que a perspectiva de linguagem-ação evidencia como falha fundamental (Koskela; Howell, 2002).

Outra limitação central é a visão restrita da produção como mera transformação de insumos em produtos, que negligencia fluxos, tempos de espera e geração de valor ao cliente (Koskela, 2000). Essa abordagem impede a identificação sistemática de desperdícios e compromete a eficiência do fluxo de trabalho. Além disso, o modelo clássico parte do pressuposto de que o projeto está sob controle, concentrando esforços em ajustar o desempenho ao plano, em vez de adaptar o plano à realidade dinâmica (Ballard; Howell, 1996). Por fim, o foco em relatórios agregados de custo e prazo favorece manipulações e não contribui para a melhoria do fluxo de produção (Howell; Koskela, 2001). Em síntese, os modelos tradicionais de controle — mostram-se incapazes de lidar com a variabilidade, aprender com os desvios e preservar o significado das informações ao longo dos diferentes níveis de controle. O Quadro 1 apresenta um resumo das principais críticas ao modelo de controle tradicional.

Quadro 1 - principais críticas ao modelo de controle tradicional

Limitação	Descrição
Ausência de aprendizagem	Corrige os desvios, mas não investiga suas causas nem retroalimenta o sistema para promover melhoria contínua (Koskela; Howell, 2002).
Pressuposto de insumos prontos	Pressupõe a disponibilidade de recursos no momento da execução, o que leva à improvisação quando essa condição não se confirma (Koskela, 2004; Fireman, 2012; Leão, 2014; Rocha, 2015; Sommer, 2010)
Planos obsoletos	Produz planos excessivamente detalhados, que rapidamente se tornam desatualizados e desconectados da realidade (Collyer *et al.*, 2010).
Comunicação unidirecional	Trata a autorização apenas como despacho de tarefas, sem negociação ou comprometimento do executor (Koskela; Howell, 2002).
Visão restrita de produção	Compreende a produção apenas como transformação, negligenciando fluxos, desperdícios e geração de valor ao cliente (Koskela, 1992; Koskela, 2000)
Pressuposto de previsibilidade do sistema	Prioriza o ajuste do desempenho ao plano, em vez da adaptação do plano às condições reais da produção (Ballard; Howell, 1996)
Manipulação dos dados de desempenho	Favorece comportamentos voltados à melhoria dos indicadores de custo e prazo, sem refletir necessariamente o desempenho real do processo (Howell; Koskela, 2001)

Fonte: elaborada pela autora.

Diante dessas limitações, Johnston e Brennan (1996) propõem a abordagem *management-as-organizing*, que compreende a gestão como prática situada, dinâmica e distribuída, contrapondo a lógica mecanicista do *management-as-planning*. Nesse modelo, o gestor atua como projetista, coordenador e facilitador de atividades autônomas, enquanto o agente se integra ao ambiente e responde diretamente às condições emergentes, sem depender exclusivamente de representações centralizadas (Johnston; Brennan, 1996). As ações, portanto, emergem da interação contínua entre subunidades descentralizadas e o ambiente estruturado, valorizando o contexto físico, político e cultural em que a produção ocorre (Johnston; Brennan, 1996). Embora essa abordagem possa transmitir a gestores acostumados à centralização uma aparente perda de controle, ela se mostra mais responsiva às demandas de ambientes complexos e incertos, possibilitando que tecnologias digitais atuem como suporte à colaboração e coordenação e não apenas como instrumentos de automatização (Johnston; Brennan, 1996).

Além de sintetizar as diferenças entre as duas abordagens, o Quadro 2 explicita os requisitos necessários para um novo modelo de controle.

Quadro 2 - requisitos para um novo modelo de controle

Aspecto	Modelo de atividade *management-as-planning*	Requisitos para o novo modelo *management-as-organizing*
Relação entre agente e mundo	Separa o agente do ambiente, mediando a interação por representações centralizadas.	Integra o agente ao ambiente, permitindo interação direta com as condições locais e resposta às variações em tempo real.
Natureza do mundo	Assume um mundo estático e previsível.	Reconhece um mundo dinâmico, incerto e mutável, exigindo adaptações contínuas às condições emergentes.
Representação	Baseia-se em representações centralizadas, detalhadas e exaustivas.	Baseia-se em representações fragmentadas, situadas e relevantes ao contexto imediato.
Planejamento e ação	Separa planejamento e ação em etapas sequenciais e independentes (percepção → plano → execução).	Integra planejamento e ação, ajustando-os continuamente por meio de feedback em tempo real.
Recursos e limites	Pressupõe tempo e informação ilimitados.	Valoriza a adaptação em contextos de recursos limitados e o uso de conhecimento emergente.
Integração	Prioriza a análise e o controle centralizados.	Prioriza a coordenação distribuída e colaborativa, em vez do controle centralizado.

Fonte: adaptado de Johnston e Brennan (1996)

Apesar de representarem um avanço conceitual importante, Johnston e Brennan (1996) não indicam como operacionalizar o modelo de *management-as-organizing* em contextos produtivos concretos. A proposta permanece no campo teórico, descrevendo princípios para uma gestão distribuída e dinâmica, mas sem oferecer mecanismos práticos que orientem a coordenação entre agentes, a sincronização das ações e o aprendizado coletivo em ambientes reais de produção. Essa lacuna é particularmente relevante para o problema de pesquisa desta tese, pois evidencia a necessidade de estruturas de controle capazes de traduzir esses princípios em rotinas observáveis e mensuráveis. Nesse sentido, o *Last Planner System* (LPS) emerge como uma resposta operacional a esse desafio: um sistema que descentraliza a tomada de decisão, integra planejamento e execução por meio de ciclos curtos de feedback e transforma o controle em um processo de aprendizagem organizacional contínuo. Assim, o LPS pode ser compreendido como o primeiro modelo a dar forma prática ao paradigma do *management-as-organizing*, convertendo seus fundamentos teóricos em uma lógica de controle colaborativo e responsivo às condições reais do canteiro.

Uma perspectiva complementar para compreender essas limitações é a distinção entre *work-as-imagined* e *work-as-done***,** proposta por Hollnagel (2015). O *work-as-imagined* representa a forma como o trabalho é concebido em planos, procedimentos e normas, enquanto o *work-as-done* corresponde à maneira como ele é efetivamente realizado na prática, exigindo adaptações contínuas às condições reais de execução (Hollnagel, 2015). Em projetos de construção, essa diferença decorre da variabilidade inerente ao processo produtivo, fazendo com que atividades não previstas, ajustes e decisões locais sejam frequentemente necessários para garantir a continuidade da produção. No contexto do LPS, Hamerski et al. (2021) demonstram que essa diferença também se manifesta no planejamento de médio prazo, em que a remoção de restrições envolve atividades informais e interdependências que não são explicitadas pelo modelo prescrito, evidenciando que a gestão da produção deve considerar não apenas o trabalho planejado, mas também o trabalho efetivamente realizado.

2.1.2 Controle no *Last Planner System* (LPS)

Diante das críticas dirigidas ao modelo tradicional de controle da produção, emerge a necessidade de alternativas capazes de articular mecanismos formais e informais de gestão, alinhados à perspectiva do *management-as-organizing*. Essa abordagem compreende a gestão como uma prática situada e dinâmica, em que o controle se constrói a partir da interação entre

agentes, ambiente e informação, valorizando a adaptação contínua e a aprendizagem organizacional.

Foi nesse contexto que Ballard (2000) propôs o LPS, concebido como um sistema baseado nos princípios do *Lean Construction* e orientado à descentralização do planejamento e do controle. Ao deslocar o foco da simples execução de ordens para a coordenação colaborativa do fluxo de trabalho, o LPS cria condições para que compromissos sejam negociados, tarefas sejam autorizadas apenas quando os pré-requisitos estejam assegurados e a confiabilidade da produção seja monitorada por meio de ciclos curtos de retroalimentação (Koskela; Howell, 2002). Cada horizonte do LPS traduz, de forma prática, os princípios do *management-as-organizing*. O curto prazo expressa sua dimensão social e reflexiva, ao estruturar compromissos mútuos entre os agentes e promover aprendizagem a partir dos desvios observados na execução. O médio prazo incorpora a lógica dinâmica e preventiva, atuando como um controle que identifica e remove restrições para assegurar a fluidez do trabalho — uma forma concreta de realizar o feedback em tempo real sugerido por Johnston e Brennan (1996). Já o longo prazo representa a dimensão estrutural e estratégica do sistema, oferecendo um referencial comum para orientar decisões distribuídas e alinhar metas em ambientes complexos e mutáveis.

Assim, mais do que responder às limitações da abordagem centralizada e reativa, o LPS propõe um modelo de controle baseado na aprendizagem contínua, em que os dados deixam de ser meros indicadores de desempenho e passam a constituir insumos para decisões subsequentes, reforçando a adaptabilidade do sistema às condições dinâmicas do canteiro. Essa correspondência permite interpretar o LPS como a expressão operacional do modelo *management-as-organizing*, ao transformar seus princípios em mecanismos concretos de coordenação, compromisso e aprendizagem. O Quadro 3 apresenta essa relação, utilizando os aspectos do *management-as-organizing* para evidenciar como o LPS as materializa na prática.

Dessa forma, o LPS se consolida como um sistema integrado de planejamento, no qual os diferentes horizontes se articulam para alinhar compromissos e estabilizar o fluxo de produção. Cada nível cumpre uma função específica na tradução dos objetivos organizacionais em ações executáveis. Essa progressão evidencia que o valor do LPS não está apenas na decomposição temporal do plano, mas na coordenação dinâmica entre seus níveis, que permite antecipar restrições, ajustar prioridades e promover o aprendizado coletivo.

Quadro 3 - diferenças entre modelo de termostato e LPS

Aspectos	Requisitos do *management-as-organizing*	Materialização no LPS
Relação entre agente e mundo	O agente é incorporado ao ambiente, interagindo diretamente com as condições locais e respondendo a variações em tempo real.	Incorpora os *last planners* ao ambiente produtivo, permitindo que ajustem decisões com base em informações de campo, restrições reais e condições de execução.
Natureza do mundo	O mundo é dinâmico, incerto e mutável, exigindo adaptações contínuas às condições emergentes.	Reconhece a variabilidade do canteiro e estrutura ciclos de controle que permitem ajustar os planos conforme as mudanças da produção.
Representação	O sistema baseia-se em representações fragmentadas, situadas e relevantes ao contexto imediato.	Utiliza planos visuais e protocolos locais para comunicar apenas as informações relevantes ao contexto da equipe.
Planejamento e ação	São integrados e ajustados continuamente, operando por *feedback* em tempo real.	Integra planejar–fazer–avaliar–aprender em ciclos curtos, nos quais controle e aprendizagem ocorrem simultaneamente.
Recursos e limites	Valoriza a adaptação com recursos limitados e o uso de conhecimento emergente.	Baseia as decisões na capacidade real de produção e nas informações disponíveis no momento, privilegiando a execução viável (Deve–Pode–Será–Foi).
Integração	Ênfase na coordenação distribuída e colaborativa, em vez do controle centralizado.	Promove reuniões colaborativas nas quais diferentes agentes negociam compromissos e coordenam as interdependências do fluxo de trabalho.

Fonte: adaptado de Johnston e Brennan (1996) e Howell e Ballard (1996)

No horizonte de curto prazo, denominado plano de comprometimento, o LPS concentra-se na qualidade das atribuições, estabelecendo que nenhuma tarefa deve ser programada sem que esteja livre de restrições e adequada à capacidade produtiva da equipe. Para tanto, Ballard e Howell (1998) propõem critérios que orientam a preparação do trabalho:

a) Definição clara – as atribuições devem ser suficientemente específicas para indicar os materiais corretos, coordenar a atuação com outras equipes e permitir a verificação da conclusão ao final do período de controle;

b) Consistência – todas as condições necessárias devem estar atendidas, incluindo disponibilidade de materiais, conclusão de projetos e finalização de atividades pré-requisito, bem como tarefas complementares de movimentação ou coordenação realizadas no período de planejamento;

c) Sequência correta – a seleção das atribuições deve seguir a lógica construtiva da unidade produtiva e o fluxo requerido pelo cliente, mantendo em *backlog* atividades de menor prioridade para absorver falhas ou ganhos de produtividade;

d) Tamanho adequado – as atribuições devem estar dimensionadas segundo a capacidade real das equipes ou subequipes, sendo exequíveis dentro do período planejado e entregando produtos intermediários no formato e quantidade adequados para a próxima unidade produtiva;

e) Aprendizado – as atribuições não concluídas devem ser rastreadas, com identificação explícita das causas de não execução, de modo a retroalimentar o processo e gerar oportunidades de melhoria.

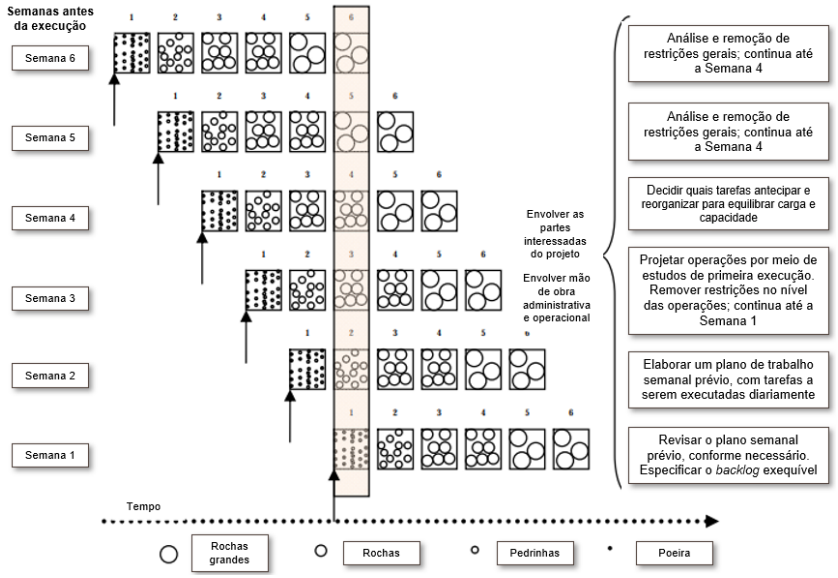
Essa lógica transforma a passagem do "pode fazer" para o "vai fazer" (*Can → Will*) (Koskela; Howell, 2002) em um filtro de confiabilidade, protegendo o fluxo de trabalho contra atrasos e interrupções. Ao relacionar o que "deve ser feito" ao que "foi efetivamente realizado" (*Should → Did*), o plano de comprometimento estabelece um ciclo de medição e aprendizagem que fortalece a previsibilidade da produção, eleva a confiabilidade dos planos e orienta a melhoria contínua (Ballard; Howell, 1998).

No horizonte de médio prazo, estruturado pelo *lookahead planning*, o objetivo central é a proteção da produção, garantindo que todas as condições necessárias sejam atendidas antes de programar a execução das tarefas. Esse processo é a identificação e remoção progressiva de restrições relacionadas a materiais, projetos, aprovações ou trabalhos predecessores, reduzindo incertezas e estabilizando o fluxo de trabalho (Ballard; Howell, 1998; Hamzeh; Ballard; Tommelein, 2008). Dessa forma, apenas atividades realmente viáveis são transferidas ao plano de curto prazo, reforçando o caráter preventivo do controle.

A Figura 1 ilustra esse encadeamento estruturado, representando o detalhamento das atividades ao longo de seis semanas até sua execução (Hamzeh; Ballard; Tommelein, 2008). Nas semanas sexta e quinta, são verificadas e removidas restrições gerais, como disponibilidade de insumos críticos e aprovações necessárias. Na quarta semana, as atividades passam por ajustes de balanceamento entre carga e capacidade, refinando sua sequência e priorização. À medida que se aproximam da execução, nas semanas três e dois, as operações são detalhadas e as últimas restrições são eliminadas. Finalmente, na semana um, as tarefas consolidadas são encaminhadas ao plano semanal de comprometimento, assegurando sua atribuição apenas quando plenamente viáveis. Esse encadeamento progressivo, ao combinar análise de restrições e refinamento contínuo, protege a produção contra decisões reativas e sustenta a previsibilidade e estabilidade do fluxo de trabalho (Hamzeh; Ballard; Tommelein, 2008).

É importante destacar que o modelo apresentado por Hamzeh, Ballard e Tommelein (2008)) descreve o detalhamento progressivo das atividades ao longo das semanas que antecedem a execução, enfatizando o processo de preparação do trabalho para garantir sua viabilidade no curto prazo. Essa representação tem caráter operacional, pois busca ilustrar como o controle se aprofunda à medida que o horizonte de execução se aproxima. No entanto, sob uma perspectiva mais ampla, o sistema de controle da produção necessita dispor de funcionalidades que permitam tanto registrar o detalhamento progressivo das atividades, quanto definir e acompanhar as metas estabelecidas em cada plano de controle. Assim, o detalhamento não deve ser entendido apenas como decomposição temporal das tarefas, mas como um mecanismo de apoio à coordenação e à tomada de decisão, capaz de integrar informações de diferentes horizontes e assegurar a coerência entre o que é definido e o que é executado.

Figura 1: fluxo de detalhamento da unidade de controle do LPS



Fonte: adaptado de Hamzeh, Ballard e Tommelein (2008)

No horizonte de longo prazo, o *master plan* organiza o conjunto de pacotes de trabalho necessários para atender às metas estratégicas do projeto, oferecendo diretrizes gerais e definindo explicitamente o *Should*: o trabalho que DEVE ser realizado para alcançar os objetivos do empreendimento, entendido como necessidade de programação (Ballard; Howell, 1998). Por sua natureza meta, esse plano fixa marcos de escopo, custo e prazo contra os quais o progresso é acompanhado ao longo do projeto. Nesse nível, o foco recai sobre o desempenho

agregado em termos de custo e prazo, garantindo o alinhamento estratégico das entregas, sem prescrever o encadeamento operacional das tarefas (Sheikhkhoshkar *et al.*, 2024).

A técnica da Linha de Balanço (LOB) complementa o planejamento de longo prazo ao oferecer uma representação visual do ritmo, da sequência e do fluxo de produção. De origem no planejamento linear, a LOB foi inicialmente empregada em projetos repetitivos, como rodovias e ferrovias, e posteriormente incorporada à construção civil pela clareza com que evidencia cadências e interdependências entre equipes (Kemmer; Heineck; Alves, 2008). No contexto do *Lean Construction*, a LOB é utilizada por possibilitar a gestão visual do fluxo e a programação de equipes em células produtivas, compatibilizando-se de maneira direta com práticas de transparência (Kemmer; Heineck; Alves, 2008). Além disso, a LOB possibilita visualizar de forma integrada a sequência das atividades e a interação entre diferentes equipes, o que favorece a coordenação do trabalho em múltiplos níveis do projeto (Isatto; Zuchetti, 2014). A utilização da LOB no planejamento define parâmetros essenciais para os ciclos subsequentes do LPS, como:

a) o ritmo de execução, traduzido em cadência ou ritmo (Arditi; Tokdemir; Suh, 2002);
b) a especificação dos locais (zonas ou frentes de trabalho) (Björnfot; Jongeling, 2007);
c) a sequência de processos bem definidos (Isatto; Zuchetti, 2014);
d) a definição de equipes alocadas a cada frente (Kemmer; Heineck; Alves, 2008);
e) a delimitação clara de pacotes de trabalho, que podem ser acompanhados no tempo e no espaço (Isatto; Zuchetti, 2014; Kemmer; Heineck; Alves, 2008).

Assim, a LOB não apenas estrutura o *master plan*, mas também fornece insumos para o planejamento de médio e curto prazo, garantindo que as tarefas sejam programadas de forma consistente. Ao integrar visão estratégica, gestão visual e clareza operacional, a técnica consolida-se como elo fundamental entre o planejamento de longo prazo e a execução confiável no nível das equipes de produção.

Dessa forma, o LPS se consolida como uma nova abordagem frente a gestão tradicional de projetos, na medida em que descentraliza os níveis de planejamento em longo, médio e curto prazo. Cada horizonte de planejamento tem um papel específico e muda o status dos pacotes de trabalho ao longo do tempo. Estes status são (Ballard; Howell, 1998; Ballard; Tommelein, 2020):

a) *Should*: são os pacotes de trabalho que DEVEM ser feitos. O planejamento inicial, ou *master plan*, é o planejamento de todo o trabalho que DEVE ser feito para atingir os objetivos do projeto;

b) *Can*: são os pacotes de trabalho que PODEM ser realizados. Eles são alcançados através da preparação de tarefas no *lookahead plan*. As tarefas são selecionadas no *master plan* e as restrições são sistematicamente eliminadas para cada atividade, resultando em um *backlog* com tarefas possíveis de serem executadas;

c) *Will*: são os pacotes de trabalho que SERÃO realizados. Eles são selecionados do *backlog* do *lookahead plan* pelos *last planners*, formando planos capazes de serem executados;

d) *Did*: são os pacotes de trabalho concluídos após os recursos (insumos) terem sido consumidos pelo processo produtivo.

Em cada um desses níveis, sistemas de medição oferecem indicadores específicos de desempenho. Sheikhkhoshkar et al. (2024) destacam como a literatura associa diferentes indicadores às funcionalidades de cada horizonte do LPS. No médio prazo, a ênfase recai sobre a eficácia da remoção de restrições, enquanto, no plano de comprometimento, o foco desloca-se para a atribuição de tarefas às equipes, a gestão de compromissos e o acompanhamento do trabalho em execução.

Complementarmente, Reck (2010) propõe um protocolo de avaliação que relaciona práticas típicas de cada horizonte do LPS. O Quadro 4 demonstra que o LPS não apenas redefine os papéis do planejamento e controle em diferentes horizontes, mas também estabelece rotinas e práticas que operacionalizam a incorporação do modelo *management-as-organizing* ao planejamento e controle da produção.

Em síntese, o LPS estrutura o controle da produção em uma lógica hierárquica, em que cada horizonte de planejamento redefine o status dos pacotes de trabalho e introduz mecanismos específicos de medição e aprendizagem. Contudo, para que essa hierarquia funcione de modo integrado, é necessário que os pacotes sejam descritos de forma consistente e padronizada, permitindo que as informações transitem entre longo, médio e curto prazo sem perda de significado. Essa dimensão semântica — relacionada à clareza na definição, relacionamento e interpretação dos dados de produção — constitui o elo que conecta a lógica de ciclos do LPS ao modelo de controle proposto nesta pesquisa, reforçando a confiabilidade do sistema e sua capacidade de gerar aprendizagem organizacional.

Quadro 4 - práticas do LPS e seus elementos relacionados

Nível de controle	Práticas	Elementos
Curto prazo ou plano de comprometimento	Tomada de decisão participativa nas reuniões de curto prazo	Comprometimento da equipe de produção (Ballard, 2000)
	Tomada de decisão participativa nas reuniões de curto prazo	Qualidade de programação do pacote de trabalho (Ballard; Howell, 1998)
	Inclusão no plano de curto prazo pacotes de trabalho sem restrições	Proteção da produção (Ballard; Howell, 1998).
	Realização de ações corretivas a partir das causas do não cumprimento dos planos	PPC, causas de não cumprimento dos planos aprendizagem com os problemas (Ballard, 2000)
	Programação de tarefas suplentes	Contramedidas para as incertezas (Ballard; Howell, 1998)
	Padronização (rotinização) das reuniões de curto prazo	Plano de curto prazo (Ballard, 2000)
Médio prazo ou lookahead plan	Padronização (rotinização) do plano (Ballard & Howell, 1998)	Plano de médio prazo (Ballard; Howell, 1998)
	Planejamento e controle dos fluxos físicos	Fluxos físicos (Alves, 2000)
	Remoção sistemática das restrições	Proteção da produção (Ballard; Howell, 1998)
Plano de longo prazo ou master plan	Elaboração de um plano de longo prazo transparente	Transparência (Koskela, 2000)
	Atualização sistemática do plano mestre para refletir o andamento da obra	Atualização do cronograma com o status do canteiro de obras (Sheikhkhoshkar *et al.*, 2024)
	Utilização de indicadores para avaliar o cumprimento de prazo da obra	Medições de desempenho (Sheikhkhoshkar *et al.*, 2024)
Práticas relacionadas as rotinas do LPS	Formalização do processo de PCP	Níveis de planejamento do LPS (Ballard; Howell, 1998)
	Utilização de dispositivos visuais para disseminar as informações no canteiro	Transparência (Koskela, 2000)
	Análise crítica do conjunto de dados	Análises baseada em processos (Koskela, 2000)

Fonte: adaptado de Reck (2010)

2.2 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS DA ESTRUTURA DE DADOS NA PRODUÇÃO

2.2.1 Relação entre Dados, Informação e Conhecimento

A transformação de dados em conhecimento aplicável à prática de controle da produção envolve um processo hierárquico e dinâmico. Floridi (2019) define dados como elementos

brutos, sem significado por si mesmos. Ao serem organizados e semanticamente estruturados, esses dados se convertem em informação, dotada de lógica interna e valor interpretativo (Floridi, 2019). Para além da informação, o conhecimento emerge quando esses conteúdos são contextualizados, explicados e justificados, tornando-se instrumentos racionais para a ação (Floridi, 2019). Nesse sentido, conhecer não é apenas acumular informações, mas organizá-las em sistemas conceituais capazes de sustentar decisões, resolver problemas e orientar práticas.

O *design* conceitual proposto por Floridi (2019) aprofunda esse entendimento, mostrando que a criação de conhecimento resulta de uma atividade criativa de modelagem, onde informações são organizadas em diferentes níveis de abstração. Esse processo não pressupõe a representação de todos os dados disponíveis, mas a seleção daqueles que são relevantes para o contexto e para o propósito do modelo. Essa atividade pressupõe que os dados sejam bem-formados, verdadeiros e relevantes para o contexto em análise, permitindo que sejam interpretados de modo pragmático e aplicável (Floridi, 2019). Elementos como coerência, consistência e refinamento contínuo tornam-se fundamentais para garantir que a informação não se perca na fragmentação, mas seja transformada em conhecimento situado e útil (Floridi, 2019). Além disso, a relevância contextual e a interpretação criativa desempenham papel central, pois permitem selecionar informações pertinentes e convertê-las em *insights* inovadores (Floridi, 2019).

Na construção civil, esse desafio adquire contornos específicos. O setor lida com grande volume de dados, mas enfrenta dificuldades em organizá-los de forma que sejam significativos e reutilizáveis no controle da produção. Como mostram Munawar et al. (2022), embora tecnologias digitais ofereçam capacidade de coleta e processamento, a ausência de integração entre sistemas ainda limita a transformação efetiva de dados em conhecimento. Ferramentas como o BIM, quando associadas a metodologias Lean, podem atuar como mediadores dessa construção, promovendo integração entre diferentes fases do ciclo de vida do projeto (Alnajjar; Atencio; Turmo, 2025) e garantindo que a informação preservada seja inteligível e comparável entre equipes.

Estudos recentes também evidenciam como essa hierarquia conceitual pode ser aplicada em ambientes produtivos. Pfitzner et al. (2024), por exemplo, demonstram que dados visuais captados por câmeras de guindaste podem ser processados por algoritmos de detecção e organizados em estruturas relacionais, permitindo a geração de métricas de produção e a

identificação de padrões de trabalho. O caso ilustra, de forma prática, como dados brutos, ao serem estruturados e contextualizados, podem sustentar a tomada de decisão em tempo real, reforçando o papel da modelagem informacional como elo entre dados e conhecimento (Pfitzner et al. 2024).

Assim, mais do que dispor de dados abundantes, a construção civil necessita de estratégias para estruturar, contextualizar e padronizar a informação. É esse movimento — da organização sintática, passando pela semântica, até chegar à formalização conceitual — que permite transformar registros fragmentados em conhecimento compartilhado e aplicável. Esse ponto conecta-se diretamente ao objetivo desta pesquisa, que busca explorar como a modelagem de dados pode sustentar os ciclos de controle do LPS com apoio do BIM, evitando perdas de significado e potencializando a aprendizagem organizacional. As principais características desse processo de *design* conceitual são sintetizadas no Quadro 5, que organiza os elementos centrais discutidos por Floridi (2019) e suas relações com a construção de conhecimento.

Na próxima seção, será aprofundada a discussão sobre as camadas de estruturação da informação — ontologia, sintaxe e semântica — como fundamentos para garantir a interoperabilidade entre sistemas. A análise dessas camadas permite compreender como a informação pode ser formalizada de modo a manter consistência, padronização e hierarquia, assegurando que dados dispersos sejam integrados em modelos interpretáveis e comparáveis. Esse aprofundamento fornecerá as bases conceituais necessárias para avançar na conexão entre metodologias de planejamento, como o LPS, e recursos digitais, como o BIM, em direção a um ambiente integrado e orientado à aprendizagem.

Quadro 5 - características básicas para o *design* conceitual

Característica	Descrição	Relação com o *Design* Conceitual
Estruturação dos dados	Organiza os dados de forma lógica e coerente, com estrutura sintática clara.	Fornece a base para a construção de um design conceitual consistente.
Significado	Atribui conteúdo semântico aos dados, tornando-os interpretáveis dentro de um contexto.	Conecta elementos abstratos da informação às realidades e aos problemas práticos.
Verdade	Representa a realidade por meio de dados confiáveis e consistentes.	Representa a realidade por meio de dados confiáveis e consistentes.
Relevância Contextual	Seleciona as informações relevantes para o contexto e para o problema analisado.	Orienta a organização das informações de acordo com os objetivos do *design* conceitual.
Interpretação Criativa	Transforma dados em i*nsights* e soluções por meio da criatividade.	Favorece a geração de novas formas de organizar e utilizar a informação.
Níveis de Abstração (LoA)	Estrutura a informação em diferentes perspectivas e níveis de granularidade.	Define como os dados são percebidos, organizados e modelados para atender aos objetivos do design conceitual.
Modelagem e Interatividade	Constrói modelos que explicam e permitem a interação com o mundo.	Cria estruturas para resolver problemas e explorar possibilidades.
Pragmatismo e Usabilidade	Prioriza a produção de conhecimento útil e aplicável à resolução de problemas.	Promove funcionalidade e clareza na construção do design conceitual.
Coerência e Consistência	Integra os elementos informacionais de forma coerente, evitando contradições.	Assegura a consistência entre os elementos que compõem o design conceitual.
Iteratividade e Refinamento	Promove a revisão e o aprimoramento contínuos do conhecimento.	Permite a adaptação do design conceitual a novas informações e mudanças de contexto.

Fonte: adaptado de Floridi (2019).

2.2.2 Ontologia, Sintaxe e Semântica na Modelagem da Informação

Ontologia, sintaxe e semântica são conceitos fundamentais na modelagem e organização do conhecimento. A ontologia, segundo Floridi (2019), refere-se à definição e estruturação do que existe no nível informacional, ou seja, à modelagem da realidade em termos de sistemas de dados e suas interações. A sintaxe, por sua vez, trata da organização lógica e estrutural desses dados, garantindo que estejam estruturados e coerentes com regras pré-definidas (Floridi, 2019). Já a semântica se concentra no significado e na interpretação dos dados, atribuindo-lhes relevância e contexto, essencial para a criação de informações que sejam úteis e verdadeiras (Floridi, 2019).

A integração entre ontologia, sintaxe e semântica é essencial para o *design* conceitual (Floridi, 2019), pois permite transformar dados brutos em conhecimento aplicável. O Quadro 6 apresenta um resumo dessas relações. Dessa forma, a ontologia define o escopo e os elementos informacionais relevantes, enquanto a sintaxe organiza esses elementos de forma lógica e consistente (Floridi, 2019). Já a semântica confere significado, conectando as informações ao contexto e aos objetivos do modelo conceitual (Floridi, 2019).

Quadro 6 - ontologia, sintaxe e semântica de acordo com o design conceitual

Termo	Definição	Conexão com o Design Conceitual	Relevância
Ontologia	Estudo do ser ou do que existe, interpretado por Floridi como a modelagem informacional da realidade.	O *design* conceitual utiliza ontologias para construir modelos que representam e explicam os sistemas informacionais.	Fornece a base para compreender e estruturar a realidade como sistemas de informações interconectadas.
Sintaxe	Estrutura e organização lógica dos dados, seguindo regras claras para formar um sistema coerente.	A sintaxe organiza dados em estruturas bem-formadas, servindo como base para modelos coerentes no *design* conceitual.	Garante a consistência estrutural dos dados antes da atribuição de significado.
Semântica	Atribuição de significado e interpretação aos dados, transformando-os em informações úteis e contextualizadas.	O *design* conceitual atribui significado aos dados, criando modelos que não apenas representam a realidade, mas também interagem com ela.	Transforma dados estruturados em informações contextualizadas e aplicáveis a problemas reais.

Fonte: adaptado de Floridi (2019).

Quando correlacionadas com as características básicas do *design* conceitual (Quadro 5), essas três camadas revelam seu papel estruturante. A ontologia está diretamente vinculada à relevância contextual, pois estabelece quais entidades informacionais são significativas para o domínio analisado (Floridi, 2019). A sintaxe, ao garantir a estruturação dos dados, assegura a coerência estrutural e contribui para a consistência do sistema, evitando contradições lógicas (Floridi, 2019). A semântica, por sua vez, corresponde ao nível de interpretação, permitindo atribuir significado e transformar dados em conhecimento aplicável a contextos reais (Floridi, 2019). Por fim, a integração dessas dimensões gera uma consistência global, condição necessária para que os modelos conceituais mantenham inteligibilidade, clareza e aplicabilidade prática (Floridi, 2019).

Assim, a combinação entre ontologia, sintaxe e semântica não apenas estrutura a informação, mas também assegura que os sistemas informacionais projetados possuam coerência interna, relevância para o problema investigado e capacidade interpretativa. Essa abordagem promove um processo dinâmico e criativo de compreensão e interação com o mundo, alinhando-se à proposta de Floridi (2019) como um exercício de *design* conceitual.

2.3 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.3.1 Natureza e Tipos de Dados na Construção Civil

O setor da construção é reconhecido como altamente intensivo em dados, que podem assumir diferentes naturezas e desempenham papel central no planejamento e controle da produção. Dados básicos, ou primitivos, são elementos fundamentais como números inteiros, valores reais, caracteres booleanos, que servem de base para estruturas mais complexas (Edelweiss; Galante, 2000). Esses dados podem ser classificados segundo múltiplos critérios, abrangendo forma, estrutura, fonte, produtor e propósito (Kitchin, 2014).

Eles podem ser quantitativos, como medições de produtividade ou de consumo de materiais, ou qualitativos, como registros fotográficos de campo ou descrições de não conformidades. Também variam quanto à forma de organização: alguns são estruturados, facilmente tratados em planilhas ou bancos de dados; outros aparecem de maneira semiestruturada, como mensagens de e-mail ou relatórios em PDF; e há ainda os não estruturados, como vídeos de drones ou áudios de reuniões de obra. Além disso, esses dados podem ser originados de diferentes fontes: capturados intencionalmente por sensores; gerados como subprodutos como logs de sistemas de equipamentos; ou mesmo derivados, produzidos por análises de desempenho. Essa diversidade evidencia que, em um mesmo projeto, convivem desde leituras brutas de sensores até relatórios agregados para gestão, todos com relevância distinta para os pacotes de trabalho e para as unidades de controle.

Nos últimos anos, a digitalização ampliou exponencialmente o volume e a variedade dos dados disponíveis na construção. Tecnologias como o BIM, gêmeos digitais, escaneamento a laser 3D e dispositivos vestíveis no canteiro passaram a gerar fluxos contínuos de informações em múltiplos formatos, compondo o chamado Big Data da construção (Munawar *et al.*, 2022). Entretanto, embora esse potencial seja elevado, a indústria ainda apresenta dificuldades em refinar e selecionar os dados relevantes para tomada de decisão. Um dos principais desafios é

identificar quais dados possuem utilidade prática para controle da produção, dado que nem todo dado coletado é aplicável ao contexto do pacote de trabalho ou unidade de controle (Munawar *et al.*, 2022).

Nesse sentido, não basta apenas classificar ou acumular dados: é essencial garantir sua qualidade de uso. A literatura sobre qualidade de dados destaca que esta é uma noção multidimensional, que deve considerar tanto avaliações subjetivas, ligadas à percepção dos usuários e gestores, quanto medidas objetivas, baseadas em critérios técnicos (Pipino *et al.*, 2002). Entre os principais atributos de qualidade incluem (Pipino *et al.*, 2002):

a) completude: ausência de lacunas;
b) consistência: coerência entre diferentes fontes;
c) acurácia: correção em relação à realidade observada;
d) acessibilidade: facilidade de obtenção; e
e) credibilidade: confiança na fonte.

No controle da produção, dados incompletos ou inconsistentes podem comprometer a confiabilidade de indicadores como o Percentual de Pacotes Concluídos[1] (PPC), dificultando a coordenação entre equipes.

Para superar essa fragmentação, torna-se necessário estruturar dados com base em um entendimento compartilhado do domínio de planejamento e controle da produção. Nesse ponto, as ontologias oferecem um recurso fundamental, pois constituem representações explícitas e consensuais de conceitos, atributos e relações, funcionando como um vocabulário comum para a comunicação entre pessoas, organizações e sistemas (Uschold; Gruninger, 1996). Ao definir metadados e atributos de forma padronizada, as ontologias contribuem para a interoperabilidade entre sistemas de informação, permitindo que dados coletados no campo sejam integrados de modo consistente a modelos BIM ou a plataformas de planejamento.

Além disso, a qualidade dos dados depende diretamente da qualidade dos modelos de dados que os organizam. Conforme Moody e Shanks (2003) é necessário distinguir entre qualidade de produto — se o modelo contém atributos completos, consistentes, simples e compreensíveis

[1] O PPC é um indicador de confiabilidade do plano, que mede a proporção de tarefas concluídas em relação às tarefas planejadas em um período de controle, refletindo a estabilidade do fluxo de trabalho e a capacidade do sistema de cumprir compromissos assumidos (Ballard; Howell, 1998).

— e qualidade de processo, que assegura que o modelo seja desenvolvido e mantido de forma a prevenir erros e garantir alinhamento com os requisitos organizacionais. Aplicado à construção, isso significa que não apenas os dados brutos precisam ser confiáveis, mas que também a estrutura de pacotes de trabalho e unidades de controle que os contextualiza deva ser projetada segundo princípios de clareza, flexibilidade e integração.

Em síntese, a natureza e os tipos de dados na construção vão além da mera classificação técnica. Eles envolvem compreender sua diversidade (Kitchin, 2014), lidar com sua escala (Munawar *et al.*, 2022), assegurar sua qualidade subjetiva e objetiva (Pipino *et al.*, 2002), formalizar sua estruturação semântica (Uschold; Gruninger, 1996) e garantir consistência por meio de modelos de dados robustos (Moody; Shanks, 2003). Esse arcabouço é indispensável para que os dados realmente cumpram seu papel de apoiar o controle da produção, vinculando-se diretamente aos pacotes de trabalho e às unidades de controle.

2.3.2 Vocabulário Controlado e Interoperabilidade

Os vocabulários controlados são essenciais para organizar e compartilhar informações na construção civil, sobretudo em ambientes que utilizam BIM. Ao estabelecer uma linguagem comum, eles reduzem ambiguidades e possibilitam a integração entre diferentes partes interessadas e programas computacionais. Como observam Royano *et al.* (2023), os sistemas de classificação evoluíram rapidamente com a difusão do BIM, desempenhando papel central na organização de informações não gráficas.

Existem diferentes formas de estruturar normas de classificação. os agrupamentos facetados, múltiplos atributos podem ser combinados em tabelas para descrever produtos, enquanto, nos agrupamentos hierárquicos, as classes seguem uma estrutura *top-down*, dificultando a inclusão de novos elementos sem a revisão do sistema (Afsari; Eastman, 2016). Na prática, a maioria das normas combina ambas as abordagens, herdando as limitações de cada modelo e organizando informações de forma predominantemente orientada ao produto.

Entre os principais sistemas de classificação, destacam-se o OmniClass™, composto por 15 tabelas e até sete níveis hierárquicos, amplamente utilizado nos Estados Unidos e Canadá; o Uniclass 2015, desenvolvido no Reino Unido, com estrutura mais enxuta (12 tabelas) e maior flexibilidade para expansão; e o CoClass, da Suécia, que coloca ênfase no ciclo de vida completo dos ativos (Royano *et al.*, 2023). No Brasil, a ABNT NBR 15965 adapta a ISO 12006-2 ao contexto nacional, aproximando-se da lógica do OmniClass™ (ABDI, 2017).

Embora apresentem diferentes níveis de detalhamento, todos se concentram na descrição de produtos e sistemas construtivos, o que limita a representação integrada de aspectos de processo e de localização, fundamentais em contextos de controle da produção.

No contexto deste estudo, destaca-se o OmniClass™, particularmente as Tabelas 21 (Elementos) e 22 (Resultados do Trabalho). Conforme Royano et al. (2023), a Tabela 21, derivada do UniFormat®, organiza os elementos do edifício segundo sua função no desempenho global da construção, sendo adequada para as etapas iniciais de concepção e estimativas de projeto. Já a Tabela 22, baseada no MasterFormat®, estrutura os resultados de trabalho de acordo com disciplinas e métodos construtivos, servindo de referência para a elaboração de especificações e processos de execução. A articulação entre ambas permite integrar a dimensão funcional e a dimensão processual do ambiente construído, embora não contemple explicitamente combinações entre processo, elemento e local como unidade analítica.

Nesse cenário, iniciativas como o *buildingSMART Data Dictionary* (bSDD) funcionam como hubs semânticos que conectam normas de classificação, taxonomias e propriedades BIM por meio de identificadores globais únicos (Beetz, 2018). O bSDD permite vincular termos técnicos e estruturas organizadas às instâncias específicas dos modelos, garantindo consistência e interoperabilidade (Beetz, 2018). A Figura 2 ilustra esse papel: normas e classificações (à esquerda) fornecem a base de organização dos dados; o bSDD (centro) conecta esses padrões a conceitos estruturados; e o esquema *Industry Foundation Classes* (IFC) (à direita) traduz tais conceitos em classes e propriedades do modelo BIM, garantindo a interoperabilidade entre programas computacionais. Na parte inferior, as especificações de produtos fornecidas por fabricantes são associadas às instâncias BIM, representando objetos como elementos construtivos ou edifícios. As linhas tracejadas mostram como os diferentes elementos se comunicam: classificações são mapeadas no bSDD, conectadas ao IFC e enriquecidas com dados de produtos, assegurando consistência no compartilhamento de informações ao longo do ciclo de vida dos projetos (Beetz, 2018). Dessa forma, o bSDD enriquece modelos informacionais ao relacionar termos técnicos e propriedades padronizadas às instâncias de objetos representadas no modelo BIM, mas sua função é de apoio complementar: ele harmoniza vocabulários, sem substituir as estruturas de classificação nem modelar relações operacionais de produção.

Figura 2: correlação entre normas, instancias do BIM e padrões de compartilhamento



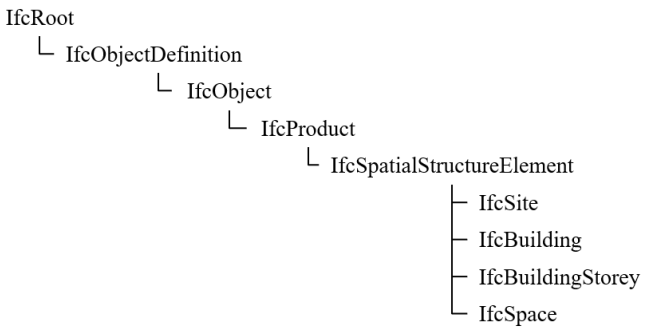
Fonte: adaptado de (Beetz, 2018).

A transição dos vocabulários para a interoperabilidade encontra seu ponto central no IFC, padrão aberto e neutro reconhecido pela ISO 16739. O IFC descreve tanto a geometria quanto a estrutura semântica de edifícios, abrangendo componentes, espaços e relações entre eles, reduzindo a dependência de formatos proprietários e possibilitando o conceito de Big Open BIM (Borrmann *et al.*, 2018). Sua organização modular compreende (Borrmann *et al.*, 2018):

a) *Core Layer*, com conceitos fundamentais;
b) *Interoperability Layer*, que conecta diferentes disciplinas;
c) *Domain Layer*, com extensões específicas (arquitetura, estrutura, instalações); e
d) *Resource Layer*, com propriedades reutilizáveis, como materiais.

A base do modelo é formada por entidades como *IfcRoot*, da qual derivam os objetos (*IfcObjectDefinition*), propriedades (IfcPropertyDefinition) e relações (*IfcRelationship*) (Borrmann *et al.*, 2018). Essas relações organizam a estrutura lógica do modelo, abrangendo desde hierarquias de decomposição todo–parte (*IfcRelAggregates*), que definem vínculos estruturais entre componentes de diferentes níveis — por exemplo, edifício, pavimento e ambiente —, até relações de agrupamento e associação (*IfcRelAssigns*, *IfcRelAssociates*), que conectam objetos a propriedades, documentos, recursos ou tarefas de processo. Além disso, as relações espaciais (*IfcRelContainedInSpatialStructure*) indicam a localização física dos elementos dentro da hierarquia espacial do projeto (Borrmann *et al.*, 2018). A Figura 3 apresenta, de forma simplificada, a hierarquia espacial do IFC, conectando *IfcSite*, *IfcBuilding*, *IfcBuildingStorey* e *IfcSpace* em uma estrutura coerente. Essa organização possibilita a navegação e o gerenciamento de informações em diferentes níveis de agregação do modelo BIM. Dessa forma, o papel do IFC é estruturar a representação digital do ambiente construído e permitir a troca de informações entre *software*, mas não contempla, em sua ontologia, o detalhamento de processos produtivos ou a definição de unidades de controle operacionais.

Figura 3: hierarquia de herança do IFC



Fonte: adaptado de (Borrmann *et al.*, 2018)

Assim, os vocabulários controlados estabelecem a base terminológica, o bSDD harmoniza conceitos entre diferentes padrões e o IFC fornece a infraestrutura de dados para interoperabilidade entre programas computacionais. Em conjunto, esses elementos contribuem para a consistência informacional, ainda que sua ênfase permaneça voltada à organização do produto, cabendo ao presente estudo avançar na modelagem do processo produtivo e de suas unidades de controle.

2.3.3 Modelagem Semântica de Dados

A modelagem semântica de dados busca representar entidades do mundo real, suas propriedades e as relações que estabelecem entre si, oferecendo uma base para que humanos e máquinas compartilhem uma compreensão comum dos dados. No contexto do BIM, diferentes notações e linguagens são utilizadas para estruturar essas informações, sendo as mais frequentes (Koch; König, 2018): Diagramas de Entidade-Relacionamento (ERD), *Unified Modeling Language* (UML) e *Extensible Markup Language* (XML).

Cada uma dessas arquiteturas privilegia uma lógica distinta. O ERD organiza os dados em uma estrutura relacional, conectando entidades e atributos em tabelas e garantindo a integridade das informações por meio de chaves primárias, utilizadas para identificar unicamente cada registro, e chaves estrangeiras, utilizadas para estabelecer vínculos entre registros de diferentes tabelas ao referenciar suas chaves primárias (Koch; König, 2018). A UML, por sua vez, adota uma perspectiva orientada a objetos, representando classes, atributos e também comportamentos, sendo indicada para sistemas dinâmicos mais complexos (Koch; König, 2018). Já o XML segue uma lógica hierárquica, com dados estruturados em elementos aninhados, o que favorece a interoperabilidade em cenários de troca entre sistemas heterogêneos (Koch; König, 2018).

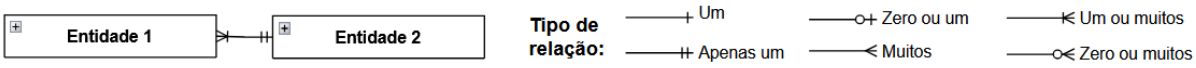
Neste trabalho, o foco recai sobre o ERD, por sua clareza e aderência ao modelo relacional de bancos de dados. Essa escolha permitiu organizar os dados dos estudos de caso de maneira consistente, com entidades representando a unidades de controle e seus atributos descrevendo propriedades como códigos, datas, quantidades ou classificações. A simplicidade gráfica do ERD também facilita a compreensão por usuários não especialistas, sem abrir mão da robustez analítica necessária.

As entidades representam itens específicos do mundo real, sejam físicos, como paredes ou colunas, ou abstratos, como tarefas (Koch; König, 2018). Cada entidade é identificada por um ID único e seu estado atual, permitindo acompanhar suas características ao longo do tempo (Koch; König, 2018). As entidades são organizadas em tipos, que agrupam aquelas com características semelhantes, funcionando como modelos para a criação de instâncias específicas (Koch; König, 2018). Por exemplo, o tipo "*Wall*" pode ter uma instância chamada "W1", representando uma parede particular em um projeto (Koch; König, 2018). Já os atributos representam as propriedades das entidades, armazenando informações que descrevem suas características (Koch; König, 2018). Embora entidades do mesmo tipo compartilhem atributos, os valores desses atributos variam entre as instâncias (Koch; König, 2018). Cada atributo é definido por um nome e um tipo de dado, podendo ser primitivo, como números e valores booleanos, ou composto, como listas e textos estruturados (Koch; König, 2018). Atributos são essenciais para detalhar entidades e organizar informações em sistemas como ERD, UML e XML (Koch; König, 2018).

Além das entidades e atributos, a riqueza do modelo ERD está em explicitar os relacionamentos entre entidades. A Figura 4 apresenta a notação de cardinalidade utilizada neste trabalho, que inclui relações de “um para um”, “um para muitos” e “muitos para muitos”, além de variações opcionais como “zero ou um” e “zero ou muitos”. Essa notação possibilita traduzir regras de negócio entre as entidades do sistema. No contexto do LPS, por exemplo, uma obra pode possuir muitos pacotes de trabalho, enquanto cada pacote de trabalho pertence a uma única obra. Já um pacote de trabalho pode estar associado a nenhuma, uma ou várias restrições, enquanto uma mesma restrição pode estar relacionada a diferentes pacotes de trabalho, quando representa um impedimento comum a várias atividades. Ao explicitar essas cardinalidades, o ERD não apenas organiza os dados, mas também formaliza as regras de funcionamento do sistema de planejamento e controle da produção. Dessa forma, os relacionamentos deixam de

representar apenas conexões entre tabelas e passam a explicitar como os elementos do controle da produção se articulam ao longo dos diferentes ciclos do LPS.

Figura 4: notação de cardinalidade em diagramas ERD



Fonte: elaborada pela autora.

Outro recurso importante da modelagem semântica é o uso de relações hierárquicas de especialização e generalização (Koch; König, 2018). A generalização permite agrupar atributos comuns em entidades mais amplas, como “Elemento Construtivo”, que pode ser especializado em subclasses como “Parede”, “Laje” ou “Pilar”. Esse mecanismo simplifica os modelos, evita redundâncias e promove maior clareza na representação dos dados. Ainda que o ERD não tenha suporte nativo para herança, isto é, para representar relações em que entidades específicas herdam atributos e características de entidades mais gerais, esses conceitos podem ser simulados em sua lógica relacional, assegurando consistência semântica (Koch; König, 2018). De forma complementar, especializações podem ser construída pela lógica de decomposição pai-filho, na qual um pacote de trabalho em nível superior (pai) é detalhado em pacotes subordinados (filhos). Essa organização garante tanto a coerência de agregação das informações quanto a rastreabilidade entre diferentes níveis de planejamento e controle. No contexto do LPS, esse arranjo hierárquico permite relacionar metas de produção em escalas distintas — do plano agregado ao detalhamento operacional — preservando a consistência semântica e favorecendo a interoperabilidade dos dados.

Assim, ao articular entidades, atributos, relacionamentos e hierarquias, o ERD oferece uma base para a modelagem semântica aplicada nesta pesquisa. Nos estudos de caso, sua adoção permitiu estruturar informações em torno das unidades de controle e pacotes de trabalho. Dessa forma, a modelagem semântica não apenas organiza os dados, mas também fornece a base para análises comparativas e para o avanço da interoperabilidade entre projetos.

2.3.4 Ferramentas Analíticas e *Business Intelligence*

O conceito de *Business Intelligence* (BI), ou Inteligência de Negócios, refere-se a um conjunto de processos, metodologias e ferramentas que permitem coletar, organizar, analisar e visualizar dados, transformando-os em informações úteis para apoiar a tomada de decisão (Power BI,

2025). No setor da construção civil, essa abordagem tem se consolidado como resposta à crescente disponibilidade de dados, que muitas vezes permanecem dispersos, heterogêneos e de difícil interpretação (Lopes; Boscarioli, 2021). O BI busca superar esse desafio por meio de relatórios dinâmicos e *dashboard* interativos, permitindo análises comparativas entre projetos, monitoramento em tempo real e maior capacidade de diagnóstico.

No âmbito prático, a construção de um sistema de BI ocorre em etapas estruturadas. Inicialmente, é realizado o carregamento dos dados a partir de múltiplas fontes, como planilhas, bancos de dados relacionais (Power BI, 2025) ou exportações de *software* BIM (Rodrigues; Alves; Matos, 2022). Em seguida, aplica-se o tratamento dos dados, incluindo limpeza, transformação, padronização de tipos e enriquecimento por meio da criação de novos atributos derivados (Power BI, 2025).

Após o tratamento, estabelece-se um modelo relacional, em que as tabelas são organizadas e conectadas por meio de chaves primárias, que identificam unicamente cada registro, e chaves estrangeiras, que estabelecem relacionamentos entre diferentes tabelas (Power BI, 2025). Diferenciam-se as tabelas de dimensão, que armazenam atributos descritivos e permitem segmentar as análises, e as tabelas fato, que concentram registros quantitativos ou eventos (Power BI, 2025). A presença de uma tabela fato central vinculada às dimensões viabiliza análises consistentes e consultas multidimensionais (Power BI, 2025).

Na sequência, definem-se as métricas e indicadores utilizando a linguagem DAX (*Data Analysis Expressions*), que possibilita cálculos de somatórios, médias, percentuais ou indicadores-chave de desempenho (Power BI, 2025). Exemplos incluem a taxa de cumprimento de planos, desvios de prazo ou custos acumulados. Por fim, esses resultados são apresentados em visuais interativos, como gráficos de linha, mapas hierárquicos, matrizes e cartões de indicadores, que permitem ao usuário explorar os dados de forma dinâmica, aplicar filtros e realizar análises por meio da navegação entre diferentes níveis de detalhamento das informações (Power BI, 2025).

Essa estrutura evidencia que o BI não é apenas um recurso de visualização, mas um sistema de integração e interpretação de dados. Ao organizar informações de modo relacional e semântico, o BI amplia a confiabilidade dos indicadores e reforça sua função estratégica como suporte ao diagnóstico e à tomada de decisão no setor da construção (He, 2022). Esse potencial torna-se

ainda maior quando o BI é integrado à modelagem semântica de dados, por meio da criação de uma camada semântica que traduz informações técnicas em termos de negócio, tornando-as acessíveis a gestores e equipes de obra e garantindo consistência nos indicadores e padronização das análises (He, 2022).

Aplicações recentes têm demonstrado o potencial dessa integração. Rodrigues et al (2022) apresentam uma metodologia que extrai parâmetros de modelos BIM e os integra ao Power BI, criando *dashboard* que correlacionam quantidades de materiais, custos e prazos em tempo real. Essa abordagem mostrou-se eficaz para apoiar equipes de gestão e supervisão, permitindo análise integrada e colaborativa de informações ao longo do ciclo de vida do projeto (Rodrigues; Alves; Matos, 2022). Além de reduzir perdas de dados e erros, a integração BIM–BI ampliou a confiabilidade da tomada de decisão e a capacidade de coordenação entre as partes envolvidas (Rodrigues; Alves; Matos, 2022).

Além do potencial das ferramentas analíticas, a literatura destaca que a efetividade do uso de dados em processos organizacionais depende da garantia de sua qualidade e governança. Wang e Strong (1996) apontam que atributos como completude, consistência, precisão e atualidade são determinantes para transformar registros operacionais em informação confiável. Nesse sentido, a governança da informação é entendida como o conjunto de práticas, padrões e responsabilidades que asseguram a integridade, a rastreabilidade e o uso responsável dos dados no ciclo de vida do projeto (ISO 8000, 2015). A ausência desses atributos compromete a interoperabilidade e pode levar a distorções decisórias, mesmo em ambientes apoiados por ferramentas digitais. A incorporação dessa perspectiva é particularmente relevante no contexto desta pesquisa, uma vez que os constructos propostos — unidade de controle facetada, vocabulário controlado e hierarquia de dados — constituem não apenas instrumentos de padronização, mas também mecanismos de qualidade da informação que sustentam a confiabilidade das análises e a aprendizagem organizacional em múltiplos projetos.

2.4 APRENDIZAGEM ORGANIZACIONAL E SOCIOMATERIALIDADE

O LPS evidencia que a confiabilidade do controle depende simultaneamente de rotinas sociais e de artefatos informacionais. A sociomaterialidade oferece o enquadramento para compreender esse entrelaçamento entre o *last planner* (tomadores de decisão no nível de execução), a tecnologia adotada e as práticas de gestão que institucionalizam as rotinas do LPS. Assim, esta

seção traz essa perspectiva para explicar como padrões de uso se estabilizam (ou se transformam) quando dispositivos informacionais passam a mediar decisões, conectando pessoas, dados e ações no canteiro. Essa lente será usada neste trabalho para interpretar como rotinas se consolidam, quais combinações de instrumentos emergem e em que medida isso se relaciona com a aprendizagem organizacional.

2.4.1 Fundamentos da Aprendizagem Organizacional na Construção

A aprendizagem organizacional pode ser compreendida a partir de diferentes tradições epistemológicas. Enquanto a tradição platônica enfatiza o conhecimento como forma universal, abstrata e descontextualizada, a tradição aristotélica valoriza o saber prático, situado e produzido na experiência (Koskela *et al.*, 2019). Essa distinção é fundamental para entender o debate contemporâneo sobre a produção na construção civil. Koskela e Kagioglou (2005) argumentam que a visão tradicional da produção, enraizada na metafísica ocidental, reforça um modelo mecanicista que separa teoria e prática, limitando a aprendizagem organizacional. Mais recentemente, Koskela et al. (2019) discutem como o *Lean Construction* resgata uma perspectiva aristotélica, em que o conhecimento emerge da ação e da produção concreta, sendo constantemente validado no contexto do trabalho.

Segundo Lave e Wenger (2008), a aprendizagem organizacional ocorre de forma mais efetiva quando os indivíduos têm acesso a práticas autênticas e podem participar progressivamente de atividades coletivas dentro de uma comunidade. Essa dinâmica, denominada participação legítima periférica, depende do reconhecimento social do aprendiz como parte da comunidade, ainda que em posição inicial, e da interação contínua com praticantes mais experientes (Lave; Wenger, 2008). Nesse ambiente, o aprendizado não é concebido como transmissão de conhecimento formal, mas como processo de engajamento que transforma tanto a competência prática quanto a identidade do indivíduo, que gradualmente transita da periferia para o centro da prática social (Lave; Wenger, 2008). Promover um ambiente de aprendizagem, portanto, significa estruturar relações, atividades e contextos que possibilitem tal inserção, tornando a própria prática o recurso pedagógico fundamental (Lave; Wenger, 2008).

Essa perspectiva contrasta com a epistemologia platônica, em que o conhecimento é concebido como universal e abstrato, desvinculado da experiência concreta; ao contrário, aproxima-se da epistemologia aristotélica destacada por Koskela et al. (2019), que enfatiza o conhecimento prático derivado da ação e da observação. Nesse mesmo sentido, Gherardi (2008) argumenta

que o *knowing in practice* não está armazenado em indivíduos, mas distribuído entre pessoas, artefatos, linguagem e contexto, sendo continuamente produzido no fazer coletivo. Assim, tanto a teoria da aprendizagem situada (Lave; Wenger, 2008) quanto os estudos baseados em práticas (Gherardi, 2008) reforçam que a construção do saber é inseparável da prática social e material, sustentando a importância de orientar o LPS para promover aprendizagem situada.

Em síntese, a literatura converge ao destacar que a aprendizagem ocorre no entrelaçamento entre prática, experiência e contexto social. Esse entendimento fundamenta a escolha de adotar uma perspectiva aristotélica e situada neste trabalho, justificando o direcionamento do artefato proposto para apoiar a aprendizagem organizacional no cotidiano das equipes de produção, em oposição à simples transmissão formal de informações.

2.4.2 A Dinâmica das Práticas em Ambientes Sociomateriais

A discussão sobre aprendizagem organizacional indica que o conhecimento não se separa da prática, sendo continuamente produzido no fazer coletivo em situações concretas. Essa orientação — alinhada à epistemologia aristotélica (Koskela *et al.*, 2019) e a abordagens como aprendizagem situada (Lave; Wenger, 2008) e *knowing in practice* (Gherardi, 2008) — abre espaço para ressignificar também o papel constitutivo da tecnologia nesse processo.

É nesse ponto que emerge a noção de sociomaterialidade, desenvolvida nos estudos organizacionais como um avanço na compreensão da tecnologia no trabalho. Em vez de tratar tecnologia e organização como domínios separados, a sociomaterialidade enfatiza que ambos são ontologicamente inseparáveis e se co-constituem nas interações cotidianas (Orlikowski, 2007). Essa perspectiva rompe com a visão instrumental da tecnologia e a recoloca como parte constitutiva das práticas que sustentam o trabalho. O Quadro 7 sintetiza os elementos básicos da sociomaterialidade utilizados neste trabalho.

A partir desses elementos destacam-se dois conceitos centrais para compreender o papel da tecnologia nas organizações. O primeiro é o *process of enactment*, que enfatiza que as estruturas de uso não estão embutidas nos artefatos, mas emergem da prática situada e são continuamente reconstruídas ao longo do tempo (Orlikowski, 2000). O segundo é o *technology-in-practice*, que nomeia os padrões estabilizados de uso resultantes desse processo, podendo coexistir de forma múltipla entre contextos (Orlikowski, 2000; Orlikowski, 2007; Orlikowski; Scott, 2008).

Quadro 7 - elementos básicos da sociomaterialidade

Elemento	Descrição	Como foi aplicado/discutido
Práticas sociomateriais	Processo de constituição relacional entre o social e o material no cotidiano.	Orlikowski (2007) e Orlikowski; Scott (2008) proposta explícita de falar em "práticas sociomateriais" para significar o entrelaçamento constitutivo; foco no que as pessoas fazem com a tecnologia e nas regras/recursos implicados.
Process of Enactment	Processo de dar forma às estruturas de uso por meio da ação cotidiana; estas emergem da prática.	Orlikowski (2000) desloca "apropriação" para *enactment*; usuários também inventam/contornam usos; estruturas de tecnologia são virtuais e reconstituídas no uso repetido. Exemplos: Web e ferramentas de escritório sendo usadas muito além do previsto.
Technology-in-Practice	Forma de entender como o social e o material se fundem na atividade diária; a tecnologia "existe" no uso, como estrutura de interação rotineiramente atuada.	Orlikowski (2000) cunha o termo e distingue artefato vs. uso: propriedades não determinam o uso; estruturas não estão "embodied", mas emergem quando mobilizadas em prática. Exemplos do Lotus Notes mostram múltiplas technologies-in-practice ("colaboração", "produtividade individual", etc.). Em Orlikowski (2007) e Orlikowski; Scott (2008), é afirmado como eixo central da sociomaterialidade: prática sempre sociomaterial e constitutiva.
Aparatos	Instrumentos/práticas produtivas (não passivas) que constituem e organizam fenômenos; estabilizações sociomateriais que estruturam o mundo.	Orlikowski; Scott, (2014, 2023) e Scott; Orlikowski (2022) aparatos como práticas sociomateriais delimitadas; podem ser institucionais (regras, padrões, protocolos) que coordenam setores; são dinâmicos (reconfiguram/estabilizam ao longo do tempo).
Entrelaçamento Constitutivo & Agência Distribuída	Tecnologia é simultaneamente meio (habilita/restringe) e produto da ação; nem humanos nem tecnologias determinam isoladamente; a agência é distribuída nas relações.	Orlikowski (2007) e Orlikowski; Scott (2008) propõe inseparabilidade ontológica. (Orlikowski; Scott, 2021, 2023) reforçam ontologia relacional e performatividade.
Performatividade	Capacidade de algo ser constituído em e através da prática (não mera "performance").	(Orlikowski; Scott, 2008, 2023) performatividade é ontológica — as fronteiras humano-tecnologia são atuadas; "relational performativity" destaca como inclusões/exclusões se materializam com consequências éticas.
Temporalidade	O uso da tecnologia é processo histórico: sedimenta estruturas, mas também permite mudanças.	Orlikowski (1996, 2000) tecnologias/práticas são dinâmicas; mudança organizacional como improvisação contínua; necessidade de estudos longitudinais.

Fonte: elaborado pela autora.

Essas estruturas, ao se sedimentarem e se institucionalizarem, passam a se materializar como aparatos — compreendidos não como instrumentos passivos, mas como práticas sociomateriais estabilizadas que organizam o mundo de modos específicos e, ao mesmo tempo, permanecem

dinâmicas (Orlikowski; Scott, 2014, 2023). Esses aparatos podem assumir forma institucional — como regras, padrões, sistemas ou protocolos — e, ao serem recorrentes, passam a estruturar e coordenar atividades em rede, orientando e restringindo novos usos e retroalimentando o ciclo de configuração e reconfiguração das práticas (Orlikowski; Scott, 2014; Orlikowski; Scott, 2014, 2023; Scott; Orlikowski, 2022).

A sociomaterialidade também aprofunda as noções de entrelaçamento constitutivo e agência distribuída. A tecnologia é simultaneamente meio, ao habilitar e restringir ações, e produto da ação, ao ser reinterpretada e reconfigurada no uso (Orlikowski, 2007; Orlikowski; Scott, 2008). Dessa forma, nenhum agente isolado, seja humano ou tecnológico, determina a prática; ela emerge da interação relacional entre ambos. A performatividade reforça esse caráter ontológico: as fronteiras entre humanos e tecnologias são atuadas nas práticas e produzem efeitos materiais e organizacionais (Orlikowski; Scott, 2008, 2023). Assim, cada uso da tecnologia faz existir uma forma específica de organização, visibilidade e coordenação.

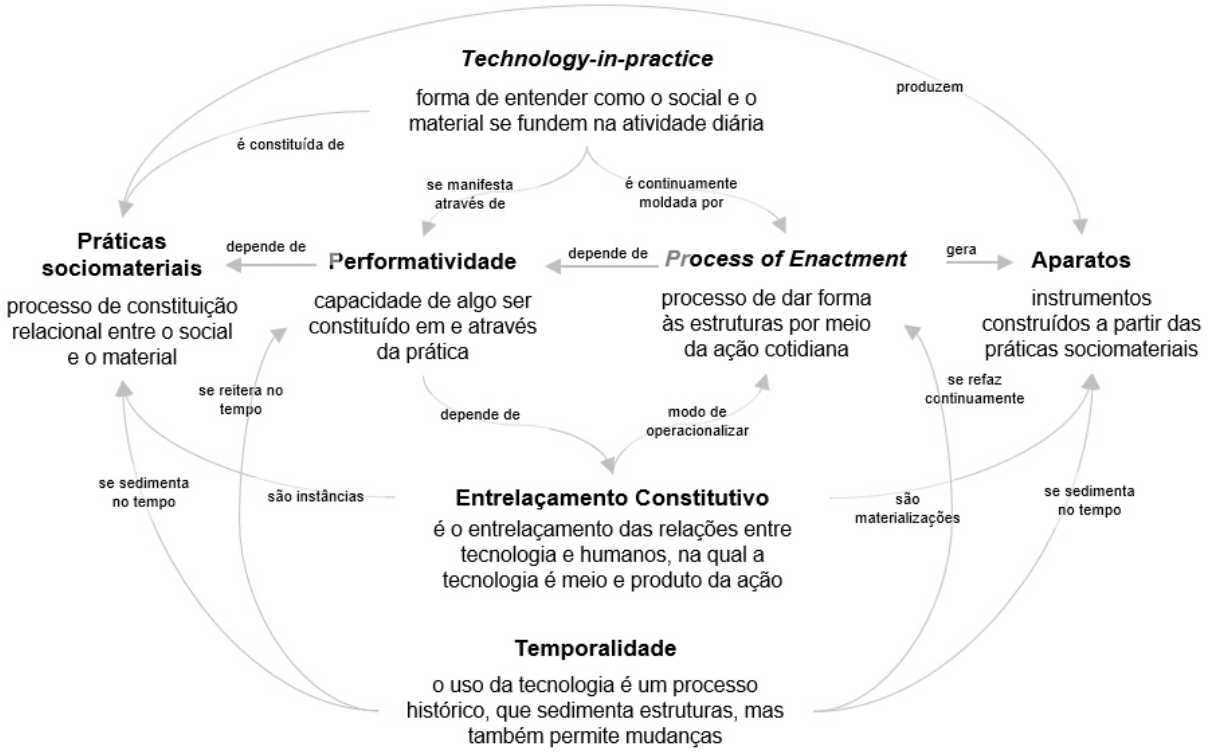
Por fim, a temporalidade atravessa todo o quadro conceitual, reforçando que o uso da tecnologia é um processo histórico: ao mesmo tempo em que sedimenta padrões e estruturas, abre espaço para variações e mudanças. Essa dimensão torna-se especialmente relevante em contextos digitais de rápida transformação, como os sistemas de controle da produção, onde o uso reiterado de planilhas, protocolos e *dashboard* gera tanto estabilidade quanto oportunidades de recombinação (Orlikowski, 1996; 2000; Scott; Orlikowski, 2022).

O modelo mental da Figura 5 sintetiza, a partir da literatura, como este trabalho propõe as conexões entre os elementos da sociomaterialidade. Ele organiza essas relações como um ciclo de co-constituição, no qual práticas e artefatos não existem como domínios separados: co-emergem no uso, gerando estabilizações provisórias que, por sua vez, orientam novos usos. No centro, *technology-in-practice* funciona como síntese dinâmica — é constituída por práticas sociomateriais, manifesta-se pela performatividade e é continuamente (re)modelada pelo *process of enactment*. Esse arranjo, ontologicamente inseparável, torna visível a agência distribuída, na qual a tecnologia habilita e restringe práticas ao mesmo tempo em que é reconfigurada pelo uso.

Como materializações desse processo, emergem os aparatos — estabilizações sociomateriais que organizam atividades e padrões (como regras, protocolos, sistemas e modelos de dados) e

retroalimentam novos *enactment*. A temporalidade, por sua vez, atravessa todo o sistema, construindo sua trajetória no tempo e, simultaneamente, abrindo espaço para variação situada e mudança.

Figura 5: modelo mental dos elementos da sociomaterialidade e suas relações



Fonte: elaborada pela autora.

Tomadas em conjunto, as relações explicitadas na Figura 5 mostram que a constituição sociomaterial do trabalho envolve, simultaneamente, estabilizações — quando usos se reiteram e se sedimentam em aparatos — e variações — quando usos se refazem performativamente por meio de novos *enactment*. Para tornar essa dinâmica analiticamente visível e orientar a leitura dos achados empíricos deste estudo, é necessário compreender o movimento próprio da sociomaterialidade, em que as tecnologias podem tanto reforçar padrões existentes quanto abrir espaço para adaptações criativas e inovações situadas. O Quadro 8 sintetiza essa dinâmica, apresentando seis processos analíticos que descrevem como práticas e tecnologias se estabilizam ou se transformam ao longo do tempo.

Quadro 8 - dinâmica da sociomaterialidade

Processo	Descrição	Como foi aplicado/discutido
Inércia	Estabilização de práticas e estruturas por meio da repetição dos usos tecnológicos.	Inicialmente vista como continuidade organizacional (Orlikowski, 2000). Posteriormente aprofundada em estudos sobre resistência e deslocamento institucional em transformações digitais (Orlikowski; Scott, 2023)
Ajuste, reinvenção do uso	Adaptação da tecnologia por meio de novos usos não previstos originalmente, ajustando-a às necessidades locais.	Associada à ideia de inovação no uso e adaptação situada, em que usuários reinventam funcionalidades em práticas cotidianas (Orlikowski, 2000).
Improvisação	Atores adaptam e improvisam no uso da tecnologia, criando novos significados e usos.	Discutida como motor da transformação organizacional (Orlikowski, 1996). Incorporada como parte do *enactment* (Orlikowski, 2000) e retomada em estudos sobre inovação em contextos de crise (Orlikowski; Scott, 2021).
Reprodução	Recriação e manutenção de padrões de uso estabilizados que reforçam práticas e estruturas existentes.	Associada à dualidade da tecnologia: o uso reiterado recria as estruturas existentes, mantendo estabilidade (Orlikowski, 2000).
Bricolage	Recombinação criativa de recursos, funcionalidades e práticas para lidar com necessidades específicas.	Destacada como prática de recombinação situada, próxima da improvisação, mas com foco na reutilização criativa de recursos disponíveis (Orlikowski, 2000, 2007).
Apropriação	Processo pelo qual os usuários incorporam a tecnologia às suas práticas, atribuindo significados e integrando-a ao trabalho.	Mobilizada para mostrar como comunidades “tomam posse” da tecnologia, moldando seus usos de acordo com contextos sociais (Orlikowski, 2000; Orlikowski & Scott, 2014).

Fonte: elaborado pela autora.

Em síntese, os conceitos da sociomaterialidade permitem compreender a tecnologia não como ferramenta externa ao trabalho, mas como parte constitutiva das práticas que sustentam o controle e a aprendizagem organizacional. Essa perspectiva fornece a base para analisar o LPS nos capítulos seguintes, evidenciando como os sistemas de controle da produção são apropriados, reinterpretados e estabilizados nas rotinas de planejamento e controle. No contexto deste trabalho:

a) *Technology-in-practice* – planilhas, protocolos e *dashboard*, quando mobilizados nas reuniões, deixam de ser ferramentas e se tornam padrões estabilizados de uso que estruturam os ciclos de controle;

b) *Process of enactment* – regras e rotinas emergem do uso e são retrabalhadas conforme o contexto das obras;

c) Agência distribuída – decisões de liberar pacotes, priorizar frentes e definir responsáveis resultam da interação entre pessoas e artefatos, não de um agente isolado;

d) Performatividade – os usos produzem efeitos materiais e organizacionais, reconfigurando papéis e responsabilidades;

e) Aparatos – protocolos, padrões de dados e representações visuais funcionam como estabilizações sociomateriais que orientam e restringem novos usos;

f) Temporalidade – a repetição semanal e mensal sedimenta certos usos (inércia), mas também abre espaço para ajustes e recombinações quando surgem novas demandas.

Com isso, a sociomaterialidade oferece o referencial teórico que permitirá, nas seções seguintes, interpretar o uso do LPS apoiado por tecnologia como um sistema sociomaterial de coordenação, compromisso e aprendizagem.

2.4.3 LPS como Mecanismo de Aprendizagem

A aprendizagem no LPS possui uma natureza sociomaterial, sustentada por quatro elementos fundamentais. Em primeiro lugar, ela é mediada pela linguagem, pois o uso de vocabulários específicos e de estruturas de comunicação claras possibilita a construção e o compartilhamento de significados entre os participantes (Kayes, 2002; Hirota; Lantelme; Formoso, 1999). Em segundo lugar, trata-se de uma aprendizagem colaborativa e situada, que emerge do contexto concreto de tempo e espaço dos projetos, sendo moldada pelas interações sociais e pela prática cotidiana (Kalsaas, 2012; Skinnarland; Yndesdal, 2012). Um terceiro aspecto é sua orientação pragmática, voltada para a resolução de problemas reais da produção, em que a identificação de desvios e a busca por melhorias funcionam como gatilhos para a criação de novas rotinas (Hällgren; Maaninen-Olsson, 2009; Dowson; Unterhitzenberger; Bryde, 2024). Por fim, a aprendizagem no LPS é experimental e iterativa, ancorada em ciclos de ação e reflexão que testam hipóteses na prática, ajustando processos produtivos e consolidando novos conhecimentos organizacionais (Skaar et al., 2020; Spear; Bowen, 1999). Esses elementos evidenciam que o LPS não é apenas um mecanismo de planejamento e controle, mas um sistema de aprendizagem contínua capaz de transformar dados de produção em conhecimento organizacional.

Nesse processo, a linguagem exerce papel central, ao estruturar a comunicação, permitir a troca de experiências e viabilizar a construção de entendimentos coletivos (Hirota; Lantelme; Formoso, 1999). No LPS, essa mediação se concretiza nas reuniões de planejamento, que funcionam como arenas colaborativas para a negociação de compromissos e a reflexão sobre erros e restrições (Kalsaas, 2012). Como consequência, a aprendizagem se manifesta de forma

essencialmente coletiva, emergindo da interação entre indivíduos com diferentes perspectivas. O compartilhamento de ideias e a discussão de problemas possibilitam a criação de soluções conjuntas e a consolidação de competências organizacionais (Dowson; Unterhitzenberger; Bryde, 2024). Nessa dinâmica, o conhecimento tácito — moldado pela experiência — é explicitado e formalizado em práticas e sistemas, tornando-se patrimônio coletivo (Skinnarland; Yndesdal, 2012).

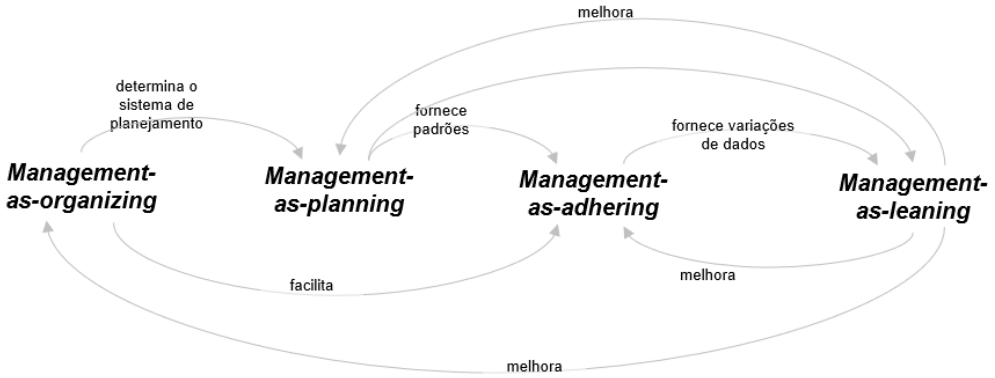
O caráter situado dessa aprendizagem reforça que o conhecimento não existe de forma abstrata, mas é produzido nas condições específicas de cada projeto (Kayes, 2002). No entanto, a limitação temporal das obras impõe desafios à retenção e disseminação desse conhecimento, o que demanda rotinas de registro e práticas de consolidação que ultrapassem as fronteiras dos projetos individuais (Hällgren; Maaninen-Olsson, 2009). Assim, o aprendizado gerado em um canteiro pode alimentar não apenas a prática imediata, mas também a cultura organizacional e interorganizacional, fortalecendo a melhoria contínua na construção (Dowson; Unterhitzenberger; Bryde, 2024).

A dimensão pragmática do LPS se expressa na forma como desvios no planejamento funcionam como gatilhos para o aprendizado. Ao enfrentar problemas emergentes, equipes desenvolvem novas rotinas e adaptam processos, consolidando uma lógica de experimentação prática e ajustando conceitos teóricos conforme necessário (Skinnarland; Yndesdal, 2012; Skaar et al., 2020). Métodos como reflexão estruturada, simulações e materiais visuais de apoio ampliam essa conexão entre teoria e prática, facilitando a internalização dos princípios lean e sua aplicação para agregar valor aos projetos (Parameswaran; Ranadewa, 2023; Liker, 2021).

Nesse sentido, a aprendizagem organizacional no LPS assume um caráter cíclico e científico, próximo ao método empírico. Cada especificação de trabalho é tratada como hipótese a ser testada, observada e ajustada, em uma lógica semelhante ao ciclo Plan-Do-Check-Act (Spear; Bowen, 1999; Liker, 2021). Essa concepção aproxima o LPS da abordagem de management-as-learning, na qual padrões de produção são continuamente questionados e refinados a partir dos dados coletados (Koskela, 2001). Como ilustra a Figura 6, o *management-as-organizing* define o sistema de planejamento, o *management-as-planning* estabelece padrões, o *management-as-adhering* fornece dados de desempenho, e o management-as-learning retroalimenta o sistema com melhorias, impactando todas as demais funções gerenciais. Assim, o LPS materializa esse encadeamento, ao transformar dados de controle em conhecimento

estruturado, fortalecendo tanto a confiabilidade dos projetos quanto a capacidade inovadora das organizações.

Figura 6: interação entre funções de gestão



Fonte: adaptado de Koskela (2001).

2.5 CONSTRUCTOS EMERGENTES QUE INTEGRAM O CONTROLE DA PRODUÇÃO À APRENDIZAGEM ORGANIZACIONAL

As seções anteriores permitiram compreender em profundidade o problema do controle da produção na construção civil, evidenciando tanto suas limitações conceituais quanto as possibilidades de transformação abertas pela integração entre métodos e tecnologias. O controle da produção constitui o contexto de aplicação do artefato proposto, pois é nesse domínio que se manifestam as rotinas, práticas e interações que sustentam a confiabilidade do fluxo de trabalho segundo a lógica do LPS. Esse sistema revelou que o controle não se limita a medir desempenho, mas a estruturar ciclos de reflexão e aprendizagem, nos quais dados operacionais são convertidos em conhecimento organizacional. Essa natureza dinâmica e social do controle define as particularidades que o modelo desenvolvido nesta tese precisa atender: descentralização das decisões, visibilidade das metas e retroalimentação contínua das informações.

Em paralelo, os fundamentos da estrutura de dados discutidos anteriormente mostram como a transformação de dados em informação depende de coerência sintática e semântica. A modelagem da informação e o BIM oferecem soluções já consolidadas para organizar, classificar e conectar dados de produção em sistemas interoperáveis, representando uma base técnica robusta para o modelo proposto. Por fim, a sociomaterialidade amplia essa visão ao fornecer um enquadramento teórico para compreender a aprendizagem organizacional como

fenômeno distribuído entre pessoas e artefatos — isto é, entre planejadores, protocolos, planilhas e *dashboard*. Essa perspectiva também orienta o desenho do artefato, ao indicar como as práticas do LPS podem ser institucionalizadas por meio de um sistema de controle de informação capaz de sustentar a aprendizagem situada nas obras.

Perseguindo essa convergência — entre controle, estrutura de dados, modelagem informacional e sociomaterialidade — delineiam-se os constructos que orientam o artefato de controle da produção proposto nesta tese. Para fundamentá-los e explicitar seus requisitos, mobiliza-se, a seguir, a literatura que já busca estruturar dados de produção e integrar LPS e BIM, evidenciando soluções, lacunas e implicações para o desenho do artefato.

Nesse panorama, diversos trabalhos exploraram a integração de sistemas baseados em LPS e BIM para a gestão da construção, com diferentes graus de alinhamento metodológico. Ferramentas voltadas ao LPS, como o Workplan (Choo *et al.*, 1999), o Integrated Production Scheduler (Chua; Shen; Bok, 2003; Chua; Jun; Hwee, 1999) e o vPlanner (Emdanat; Linnik; Christian, 2016), enfatizam a definição de pacotes de trabalho, a qualidade das atribuições de médio prazo e o monitoramento baseado no ritmo de produção. No contexto do BIM, destacam-se o uso do *Work Breakdown Structure* (WBS) para extrair informações do BIM e gerar cronogramas (Park; Cai, 2017) e o uso de regras ontológicas para identificar relações entre objetos e criar automaticamente cronogramas (Wu; Ma, 2023). Outras abordagens exploram o BIM como repositório de dados sem vínculo direto ao LPS, como o 4D-GCPSU 2009 (Hu; Zhang, 2011; Zhang; Hu, 2011) e o PIIM Framework (Wu; Hsieh, 2012), que estruturam informações em bases de dados para análise de segurança estrutural e integração entre stakeholders. Em um movimento convergente, esforços de integração entre LPS e BIM incluem Lewis (Sriprasert; Dawood, 2003), o KanBIM (Sacks; Treckmann; Rozenfeld, 2009; Sacks *et al.*, 2011; Sacks; Radosavljevic; Barak, 2010), o VisiLean (Dave *et al.*, 2014, 2016; Dave; Boddy; Koskela, 2011, 2013), o BIM-based LPS prototype tool (Heigermoser *et al.*, 2019), o Visual and Virtual Production Management System (Lin; Golparvar-Fard, 2021) e o BeaM! (Schimanski *et al.*, 2021), que promovem desde visualizações 4D e ferramentas de controle até bancos de dados colaborativos e interfaces digitais, reforçando o potencial de sinergia entre as abordagens.

O desenvolvimento de sistemas de informação voltados ao controle da produção, contudo, exige mais do que integração tecnológica: é necessário traduzir de forma eficaz a lógica do LPS em

funcionalidades digitais (Choo *et al.*, 1999). O LPS enfatiza o planejamento colaborativo, a remoção de restrições e o cumprimento confiável de compromissos, diferenciando-se das práticas tradicionais de gestão. Ferramentas como o KanBIM (Sacks; Radosavljevic; Barak, 2010) e BeaM! (Schimanski *et al.*, 2021) respondem a esse desafio ao estruturar funcionalidades orientadas pelos princípios do LPS e apoiadas em capacidades do BIM, ampliando a visão de tradução metodológica. Para que sejam efetivos, tais sistemas devem apresentar flexibilidade para adaptação às especificidades do projeto e às demandas das equipes (Wu; Hsieh, 2012), promovendo não apenas eficiência operacional, mas também mudança cultural nos participantes (Choo *et al.*, 1999).

Outro aspecto recorrente nos estudos é a capacidade de apoiar a tomada de decisão como um pilar de sistemas de informação eficazes. Esses sistemas devem fornecer informações detalhadas sobre status das tarefas, desempenho e restrições (Schimanski *et al.*, 2021), permitindo filtrar e priorizar dados relevantes (Dave et al., 2014; 2016). Também devem possibilitar análises históricas para identificar tendências, prever problemas e apoiar melhorias contínuas (Zaeri et al., 2017; Zhang; Hu, 2011). Métricas como o PPC são recorrentes e demandam suporte automatizado para cálculo e análise (Choo; Tommelein, 2001). Além disso, os sistemas devem facilitar a comunicação e a colaboração entre agentes, fortalecendo a capacidade de negociação e coordenação (Sacks; Radosavljevic; Barak, 2010) e a tomada de decisão.

A literatura ainda reforça que esses sistemas precisam ser flexíveis e adaptáveis a diferentes tipos de projetos e cadeias de fornecimento (Wu; Hsieh, 2012; Dave et al., 2016). Essa flexibilidade deve, contudo, ser equilibrada com padronização e simplicidade, assegurando que as ferramentas sejam acessíveis e funcionais mesmo em contextos de baixa maturidade tecnológica. Interfaces padronizadas e intuitivas favorecem a adoção e aceleram a curva de aprendizado, criando condições para colaboração e compartilhamento de conhecimento (Wu; Hsieh, 2012; Dave et al., 2016).

Diante desse conjunto de esforços, observa-se que a maior parte dos sistemas de informação desenvolvidos até o momento busca estruturar dados, otimizar a gestão da produção e facilitar a colaboração. Contudo, persistem desafios significativos na captura, armazenamento e disseminação do conhecimento gerado nos ciclos de planejamento e execução. A análise

comparativa desses trabalhos permite identificar padrões recorrentes que fundamentam os constructos emergentes propostos nesta tese:

a) a definição da unidade de controle por facetas de processo, elemento e local, que aparecem de forma dispersa nos estudos, mas sem articulação integrada;
b) a necessidade de um vocabulário controlado para padronizar a nomenclatura utilizada na expressão dessas facetas, como apontam experiências com WBS e ontologias;
c) a presença de uma hierarquia dos pacotes de trabalho entre níveis de planejamento (longo, médio e curto prazo), abordada em práticas como LPS, mas ainda pouco formalizada em termos de dados; e
d) a contextualização semântica dos dados, que permite transformar registros de status e indicadores em conhecimento aplicável à tomada de decisão e à aprendizagem organizacional.

Estes constructos serão descritos em detalhe nas subseções seguintes, de forma a explicitar suas bases conceituais e seu papel no modelo proposto.

2.5.1 Definição da Unidade de Controle como uma Combinação de Facetas

Para discutir o primeiro constructo, esta subseção delimita a unidade de controle como a entidade controlável e mensurável do sistema, responsável por conectar, em uma combinação única, as dimensões de processo, elemento e local. Essa combinação é o que confere identidade, rastreabilidade e coerência operacional ao pacote de trabalho dentro do sistema de controle da produção. Neste trabalho, os termos unidade de controle e pacote de trabalho são utilizados como sinônimos.

A noção de unidade de controle não é exclusiva da construção civil, mas tem origem nas práticas de gestão da qualidade desenvolvidas na Toyota. Para Kume (1985), no contexto do *Total Quality Control*, a qualidade só pode ser assegurada quando cada etapa do processo é definida como uma unidade controlável, dotada de padrões de execução e critérios de avaliação. Shingo (1981) aprofunda esse conceito ao propor que a produção seja entendida como uma rede de interconectadas de processos e operações. O processo representa o fluxo de materiais, da matéria-prima ao produto acabado, enquanto a operação corresponde ao trabalho realizado por pessoas e máquinas para efetuar transformações (Shingo, 1981).

Na construção, essa lógica foi reinterpretada por Koskela (1992), ao distinguir tarefas de conversão e de fluxo, e por Ballard (2000), adota o termo pacote de trabalho como a unidade de controle no LPS, isto é, o conjunto de atividades que deve ser planejado, monitorado e

concluído de forma autônoma e verificável. A especificidade do nosso setor, no qual equipes atuam em locais variados, tornou o local um parâmetro fundamental de controle (Birrell, 1980). Com a disseminação do BIM, acrescenta-se ainda a dimensão do elemento físico, entendido como repositório de atributos do produto que conecta dados de processo e execução (Sacks *et al.*, 2020). Neste trabalho, a unidade de controle é definida como a combinação única de três facetas:

a) um processo ou ação (fundação, montagem, escavação);
b) um elemento físico (viga, coluna, janela, tubo); e
c) um local específico (edifício, pavimento, apartamento, cômodo).

Essa definição integra a herança da qualidade total e do Sistema Toyota, os fundamentos da construção enxuta e as possibilidades abertas pelo BIM. Ela constitui, neste trabalho, a base conceitual e informacional para estruturar dados de produção em um sistema de controle orientado à aprendizagem organizacional.

2.5.2 Vocabulário Controlado para Expressar as Facetas

Abordando a Lacuna 2, discutimos como a padronização terminológica reduz ambiguidade, facilita integração entre ferramentas e acelera aprendizagem entre obras, sem impedir adequações locais.

Dessa forma, a partir da definição das facetas da unidade de controle, torna-se essencial o uso de uma terminologia controlada, capaz de assegurar consistência semântica, favorecer a interoperabilidade entre sistemas e viabilizar um ambiente comum de dados. Na literatura sobre sistemas de controle baseados em LPS e BIM, ainda são relativamente escassos os estudos que se apoiam em classificações normatizadas para estruturar informações de processo e produto. As experiências existentes, entretanto, ajudam a demonstrar diferentes caminhos possíveis para organizar unidades de trabalho e seus elementos associados.

Entre os estudos analisados, Dawood et al. (2002) utilizam a Uniclass como estrutura multifacetada para integrar dados de produto e processo e desenvolver uma WBS orientada ao produto, conectando modelos CAD a atividades 4D. Park e Cai (2017) combinam MasterFormat® para classificar tarefas e UniFormat® para organizar elementos, permitindo vincular o modelo BIM ao cronograma de forma sistematizada. Em contraste, Heigermoser et al. (2019) não recorrem a normas formais: desenvolvem um sistema próprio baseado em

atributos internos do modelo (zona, nível e tipo), operando como uma classificação *ad hoc*. Já Lin e Golparvar-Fard (2021) empregam UniFormat® (para agrupar elementos por tipo) e MasterFormat® (para materiais e resultados de trabalho), usando essas categorias para automatizar consultas e compor work packages no 4D BIM.

Apesar dessas iniciativas, observa-se que os sistemas de classificação disponíveis ainda apresentam limitações importantes para o controle da produção. Como apontado por Royano *et al.* (2023), persistem dificuldades para classificar elementos da construção de forma consistente e não ambígua, especialmente em edifícios residenciais, o que compromete a padronização necessária para análises comparativas e integração de dados. Além disso, os autores destacam que a maioria desses sistemas foi concebida com foco nas fases de projeto, o que reduz sua aplicabilidade em contextos de obra em andamento, onde informações precisam ser coletadas e atualizadas diretamente no campo, enfrentando restrições operacionais. Nesse sentido, esta pesquisa assume que a adoção de um vocabulário padronizado e adequado ao domínio é condição indispensável para estruturar unidades de controle de maneira robusta. A eficácia dessas normas, bem como suas limitações práticas, será analisada em maior profundidade nos estudos empíricos apresentados a seguir.

2.5.3 Estruturas Hierárquicas em Diferentes Níveis de Controle

Já o terceiro constructo esta subseção discute como diferentes propostas de hierarquia tratam a decomposição das unidades de controle, compatibilizando com a definição de metas entre os níveis de planejamento (longo, médio e curto prazo). Essa discussão é essencial para compreender como o controle da produção pode ser estruturado em múltiplas escalas, assegurando coerência entre planejamento e execução.

A partir da definição facetada da unidade de controle, torna-se necessário adotar uma estrutura hierárquica capaz de representar as relações de generalização e especialização entre processos, elementos e locais. Contudo, a literatura não apresenta consenso quanto à forma ideal de estruturar essas hierarquias — variando conforme o foco da abordagem, o contexto de aplicação e a granularidade desejada.

O Figura 7 sintetiza quatro propostas frequentemente utilizadas na literatura de PCP e BIM. Cada uma enfatiza dimensões distintas da estrutura produtiva:

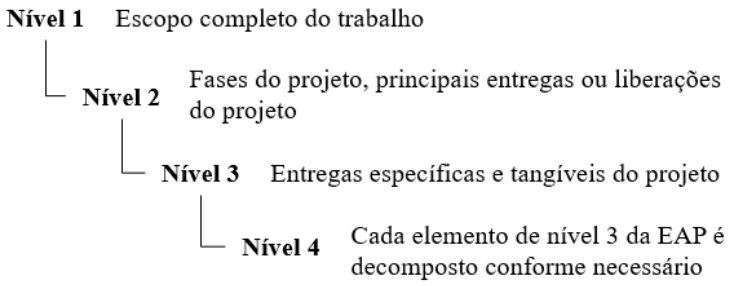
a) o WBS (PMI, 2019) parte da lógica do gerenciamento de projetos, hierarquizando o escopo de trabalho e orientada a entregas, mas sem explicitar a distinção entre processo e produto;

b) o IFC 4.0 (ISO, 2024) organiza as informações do modelo digital com base apenas de uma hierarquia espacial (projeto → edifício → pavimento → espaço) e agrupamento de categorias com o *IfcZone*, assegurando coerência geométrica.

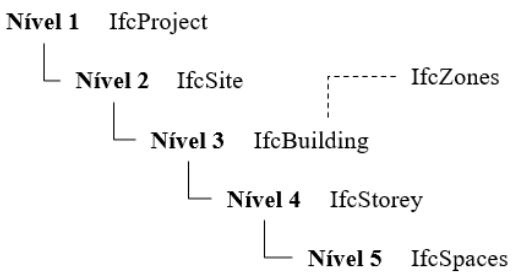
c) o LPS (Ballard; Tommelein, 2020), com raízes na administração científica (Taylor, 1911), nos estudos de análise de movimento (Gilbreth; Gilbreth, 1917) e no sistema Toyota de produção (Shingo, 1981), propõe uma hierarquia produtiva que vai de projetos a operações, passos e movimentos elementares, introduzindo níveis de observação.

d) o UniClass, por sua vez, estrutura múltiplas facetas classificatórias e, na proposta de Dawood et al. (2002), essas dimensões foram combinadas hierarquicamente.

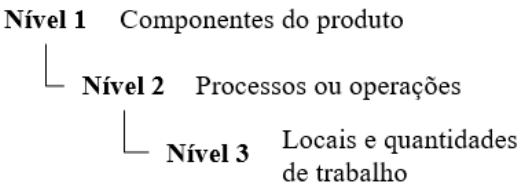
Figura 7: comparação hierárquica da estrutura de dados recomentada na literatura



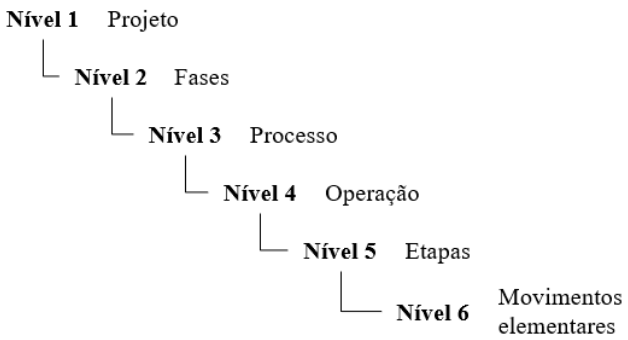
(a) WBS (PMI, 2019)



(b) IFC 4.0 (ISO, 2024)



(c) Dawood *et al. (*2002) baseado na UniClass



(d) LPS (Ballard; Tommelein, 2020)

Fonte: elaborado pela autora.

Essa comparação evidencia que cada abordagem reflete um modo específico de pensar o controle da produção. Enquanto a WBS e o IFC priorizam a estruturação descritiva e documental, o LPS e o UniClass introduzem uma dimensão operacional e contextual, na qual o controle emerge do relacionamento entre facetas.

Dessa forma, as hierarquias sugeridas na literatura revelam a necessidade de articular diferentes dimensões dentro de um mesmo sistema de informação. Como estratégia deste trabalho, o foco não está em eleger uma hierarquia única, mas em propor uma estrutura de registro e consulta capaz de acomodar diferentes recomendações hierárquicas da literatura, permitindo que os dados de produção sejam contextualizados e comparáveis entre obras e níveis de planejamento. Essa perspectiva será aprofundada nos estudos empíricos desta pesquisa, que exploram como tais princípios podem ser aplicados ao controle da produção em ambiente real.

2.5.4 Contextualização Semântica para Apoio à Tomada de Decisão

O último constructo, será discutido como dados históricos da produção só geram ação e aprendizado quando contextualizados, permitindo consultas, filtros e comparações que revelam padrões e orientam contramedidas.

Para que um sistema de informação baseado em LPS e BIM contribua para a aprendizagem organizacional, é essencial que ele registre de forma contínua as unidades de controle ao longo do tempo, assegurando a rastreabilidade das mudanças de status dos pacotes de trabalho. O LPS organiza o planejamento em diferentes níveis (longo, médio e curto prazo), nos quais os pacotes transitam por estados sucessivos — *should–can–will–did* — representando a passagem da intenção à ação (Ballard; Howell, 1998; Ballard; Tommelein, 2020).

Essas transições expressam o próprio ciclo decisório do sistema de controle. Enquanto o *should* define o que deve ser feito; o *can* delimita o que é viável conforme as restrições removidas. Já no canteiro de obras o *will* representa o compromisso assumido; e o *did* registra o que foi efetivamente realizado. Um sistema de informação eficaz deve ser capaz de capturar essas mudanças de estado, armazená-las em bases estruturadas e torná-las consultáveis, de modo que cada decisão tomada no presente retroalimente as decisões futuras, reforçando o aprendizado organizacional.

A literatura evidencia diferentes tentativas de dar suporte a esse processo. Zaeri et al. (2017) demonstram como planilhas digitais podem apoiar o registro de causas de não cumprimento e

cálculo de PPC, ainda que de forma limitada. Já ferramentas como o VisiLean (Dave *et al.*, 2014, 2016; Dave; Boddy; Koskela, 2011, 2013) e o BeaM! (Schimanski *et al.*, 2021) exploram interfaces digitais para registrar status em tempo real, vinculando restrições e métricas de confiabilidade. Lin e Golparvar-Fard (2021) avançam ao propor *dashboard* visuais e virtuais que permitem detectar desvios de progresso de forma proativa, enquanto Hamledari et al. (2017) mostram a possibilidade de atualização automatizada de modelos 4D a partir de dados coletados em campo. Mais recentemente, Gao, Chan e Hendy (2023) relatam a adoção de um LPS digital em projetos de infraestrutura, destacando benefícios na transparência e no engajamento das equipes.

Em todos esses casos, a aprendizagem depende da observação contínua e da retroalimentação do sistema por meio de registros confiáveis (Parameswaran; Ranadewa, 2023). Para tanto, é necessário que o sistema viabilize não apenas a coleta sistemática de dados, mas também sua contextualização semântica — ou seja, a atribuição de significado às mudanças de status de cada pacote de trabalho em relação ao processo, ao elemento e ao local. Essa capacidade de contextualizar transforma registros operacionais em informações interpretáveis, permitindo consultas que articulam o *should–can–will–did* às decisões de controle, e estas, por sua vez, à aprendizagem organizacional.

Sob a ótica da sociomaterialidade, essa contextualização atua como o ponto de interseção entre agentes humanos e artefatos digitais. O sistema de controle, enquanto aparato sociomaterial, não apenas registra dados, mas atua na agência distribuída entre planejadores, equipes e tecnologia: ao mesmo tempo em que habilita a tomada de decisão informada, é continuamente reconfigurado pelo uso e pela experiência acumulada. Assim, os padrões de registro, consulta e interpretação tornam-se práticas sociomateriais que estabilizam o aprendizado organizacional, transformando o controle da produção em um processo de conhecimento compartilhado e situado.

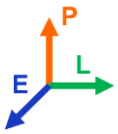
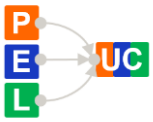
Essa abordagem viabiliza o aprimoramento da gestão ao oferecer dados estruturados sobre restrições, desempenho e confiabilidade dos planos, possibilitando um controle baseado na retroalimentação contínua e na aprendizagem a partir das decisões tomadas (Sheikhkhoshkar et al., 2024). Embora o tema do registro sistemático e do uso desses dados seja amplamente discutido na literatura do LPS e do BIM, sua efetividade ainda carece de avaliação sistemática em contextos empíricos. Nesse sentido, esta pesquisa propõe o constructo da contextualização

semântica, entendido como a capacidade de relacionar registros de status às facetas da unidade de controle (processo, elemento e local), viabilizando a agência distribuída entre pessoas e sistemas e apoiando a retroalimentação dos ciclos de planejamento e a consolidação da aprendizagem organizacional.

2.5.5 Construtos que fundamentam o artefato proposto

A revisão de literatura permitiu identificar quatro constructos (Quadro 9) que sintetizam os principais requisitos conceituais para a modelagem semântica dos dados do controle da produção. Esses constructos constituem os fundamentos do artefato proposto nesta pesquisa e orientam tanto o desenvolvimento do modelo conceitual quanto sua materialização no modelo operacional. Nos capítulos seguintes, esses constructos serão operacionalizados e avaliados em diferentes contextos de planejamento e controle da produção, permitindo analisar sua aplicabilidade e suas contribuições para o artefato proposto.

Quadro 9 - constructos que fundamentam o artefato de modelagem semântica proposto

Constructo		Papel no artefato
	Unidade de controle por facetas	Define a unidade de representação dos dados do controle da produção, integrando processo, elemento e local.
	Vocabulário controlado	Garante consistência semântica e interoperabilidade na descrição das facetas da unidade de controle.
	Estrutura hierárquica	Permite organizar e relacionar as unidades de controle entre diferentes níveis de planejamento e detalhamento.
	Contextualização semântica	Relaciona os registros do controle ao seu contexto, possibilitando consultas, interpretação e apoio à tomada de decisão.

Fonte: elaborado pela autora.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo descreve a abordagem metodológica adotada na pesquisa, fundamentada na estratégia *Design Science Research* (DSR), que orienta a construção, aplicação e avaliação de artefatos fortemente baseados na teoria, mas que solucionam problemas reais. São apresentados o delineamento desta pesquisa em quatro etapas integradas, os estudos empíricos conduzidos em duas organizações do setor da construção civil, as fontes de evidência utilizadas, bem como os critérios e eventos de avaliação que sustentam a validade científica e prática dos resultados.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia DSR tem como objetivo central a criação de elementos que atendam a propósitos humanos (March; Smith, 1995), sendo o termo-chave o *design* — entendido como a concepção de sistemas capazes de enfrentar de forma mais eficaz os desafios contemporâneos (Kasanen *et al.*, 1993) e criar novas realidades organizacionais (Lukka, 2003). Para Lukka (2003), a DSR é um procedimento de pesquisa voltado à produção de construções inovadoras destinadas a resolver problemas enfrentados no mundo real, enquanto também contribui para o avanço teórico da disciplina em que está inserida. Essa abordagem se caracteriza pelo (Lukka, 2003):

a) enfoque problemas do mundo real;
b) produção de uma construção inovadora destinada a resolver o problema inicial do mundo real;
c) inclua uma tentativa de implementar a construção desenvolvida, servindo, assim, como um teste de sua aplicabilidade prática;
d) implique uma colaboração e envolvimento muito próximos entre o pesquisador e os profissionais, de forma semelhante a uma equipe, na qual se espera que ocorra aprendizagem experiencial;
e) esteja explicitamente vinculada ao conhecimento teórico prévio; e
f) reflita os achados empíricos à luz da teoria.

A adoção da DSR nesta pesquisa se justifica pelo caráter construtivo e iterativo da investigação, voltada à proposição, aplicação e avaliação de artefatos capazes de apoiar a aprendizagem organizacional no controle da produção em projetos de construção civil. Em vez de buscar generalizações abstratas, a pesquisa centra-se na criação de conhecimentos aplicáveis e úteis, desenvolvidos com base em problemas observados na prática e validados por meio de sua

utilização em contextos reais. Dessa forma as atividades de *design*, portanto, constituem uma parte essencial do processo científico nesta abordagem. Em vez de produzir conhecimento teórico geral, os cientistas do *design* produzem e aplicam conhecimento relacionado a tarefas ou situações específicas, com o objetivo de criar artefatos (March; Smith, 1995). Segundo Vaishnavi e Kuechler (2007), o artefato está estruturalmente acoplado ao seu ambiente, sendo influenciado tanto por sua organização interna quanto pelas forças externas que o cercam. Assim, o *design* representa um conhecimento pragmático — o "saber-fazer" — necessário para a construção de soluções que operam sob restrições reais e atendem a requisitos específicos.

Diversas etapas do DSR são descritas na literatura. Embora apresentem terminologias e ênfases distintas, os autores da área convergem na identificação de quatro momentos principais: compreensão do problema, desenvolvimento da solução, implementação/teste e análise da contribuição. Para esta pesquisa, tais etapas foram consolidadas em um arranjo metodológico próprio, que combina elementos complementares de diferentes propostas em vez de simplesmente adotar uma taxonomia única.

A opção por essa síntese decorre da necessidade de articular dimensões práticas e teóricas de forma integrada. A ênfase de March e Smith (1995) na construção e avaliação do artefato forneceu a base para estruturar a produção científica da tese, enquanto a abordagem iterativa de Vaishnavi e Kuechler (2007) orientou os ciclos de refinamento do artefato ao longo da pesquisa. Complementarmente, Kasanen et al. (1993) trouxeram a perspectiva da relevância prática e da demonstração de utilidade, aspecto central para a condução dos estudos empíricos, e Lukka (2003) contribuiu ao destacar a importância da colaboração com as organizações e da reflexão sobre o escopo de aplicabilidade dos resultados. Assim, as atividades metodológicas desta pesquisa foram organizadas da seguinte forma:

a) Obter um entendimento profundo da área temática, tanto prática quanto teoricamente: compreendida como a análise da teoria sobre aprendizagem e controle da produção e a identificação de sua aplicação prática, em linha com a "conscientização do problema" (Kasanen et al., 1993) e a necessidade de compreensão ampla destacada por Vaishnavi e Kuechler (2007).
b) Inovar uma solução e desenvolver uma construção para resolução de problemas: entendida como a construção progressiva do artefato, articulando a ênfase de March e Smith (1995) na construção, a noção de design provisório de Vaishnavi e Kuechler (2007) e a exigência de relevância prática e contribuição teórica proposta por Lukka (2003).

c) Implementar a solução e testar seu funcionamento: realizada por meio de estudos retrospectivos, estudos de caso e entrevistas, em consonância com a fase de avaliação de March e Smith (1995), a demonstração prática de Kasanen et al. (1993) e os testes de aplicabilidade sugeridos por Lukka (2003).

d) Identificar e analisar sua contribuição teórica e prática: etapa que compreende a avaliação tanto organizacional quanto científica, associada à construção teórica de March e Smith (1995), à conexão com conceitos proposta por Kasanen et al. (1993) e à reflexão sobre escopo e aplicabilidade de Vaishnavi e Kuechler (2007) e Lukka (2003).

Dessa forma, o método adotado não se limita a reproduzir classificações existentes, mas resulta da combinação crítica das contribuições de diferentes autores em uma estrutura coerente, que reconhece simultaneamente a relevância prática dos problemas enfrentados e a necessidade de avanço teórico na área de gestão da produção. Diferentes resultados do *desing* podem emergir de uma pesquisa de DSR. Estas construções podem ser:

a) Construtos formam o vocabulário de um domínio, constituindo uma conceitualização utilizada para descrever problemas dentro desse domínio e especificar suas soluções (March; Smith, 1995). Eles representam a linguagem especializada e o conhecimento compartilhado dentro de uma disciplina ou subdisciplina (March; Smith, 1995). Por exemplo, formalismos de modelagem de dados são construtos que representam a estrutura lógica dos dados (March; Smith, 1995);

b) Modelos são construções de ordem superior resultantes da combinação de construtos (March; Smith, 1995). construções de ordem superior resultantes da combinação de construtos Voordijk (2009). Podem ilustrar relações entre elementos de um sistema, como fluxos de informação ou passos em um processo (March; Smith, 1995);

c) Instanciação são implementações específicas de um artefato, destinadas a executar determinadas tarefas (March; Smith, 1995). Fornecem artefatos funcionais, cujo estudo pode levar a avanços significativos tanto na ciência do design quanto na ciência natural;

Este trabalho, optou-se por adotar uma estrutura de resultados que integra diferentes categorias propostas na literatura da DSR, de modo a refletir tanto a base conceitual quanto as contribuições práticas do artefato desenvolvido. A classificação apresentada no Quadro 10 não representa apenas uma adesão formal às taxonomias propostas por March e Smith (1995), mas sim uma decisão consciente no delineamento da pesquisa. Essa opção justifica-se pela necessidade de articular dimensões conceituais, normativas e aplicadas, de forma coerente com o caráter da DSR como metodologia que não apenas constrói artefatos, mas também sistematiza o conhecimento de *design* em múltiplos níveis de abstração.

Quadro 10 - resultados deste trabalho

Resultado da DSR	Resultados da Tese	Descrição
Constructos	Propor um conjunto de constructos que definem a linguagem formal do domínio, visando à aprendizagem organizacional a partir de diferentes projetos de uma mesma organização	Definem a terminologia controlada das facetas, a composição e hierarquia das unidades de controle e a estrutura de contextualização semântica. Representam o vocabulário do domínio e fornecem a base conceitual para a construção dos demais artefatos.
Modelo conceitual	Propor um modelo conceitual que explicita as relações entre os constructos	Trata-se de uma construção de ordem superior que organiza facetas, vocabulário, hierarquia e contextualização semântica, permitindo análises comparativas entre planos e projetos.
Modelo operacional	Propor um modelo semântico de dados para planejamento e controle da produção em projetos de construção, visando à aprendizagem da organização.	Trata-se de um modelo relacional que organiza e representa os dados de planejamento e controle. Essa estrutura permite ilustrar relações entre classes como processo, local, plano e status, conectando-os semântica e hierarquicamente.
Instanciação	Aplicação dos artefatos nas empresas N e F de maneira sequencial e indutiva	Refere-se à aplicação prática e operacional dos artefatos desenvolvidos em dois contextos organizacionais distintos, permitindo avaliar sua aplicabilidade em contexto real, promover seu refino iterativo e analisar sua efetividade em diferentes condições de uso.

Fonte: elaborado pela autora.

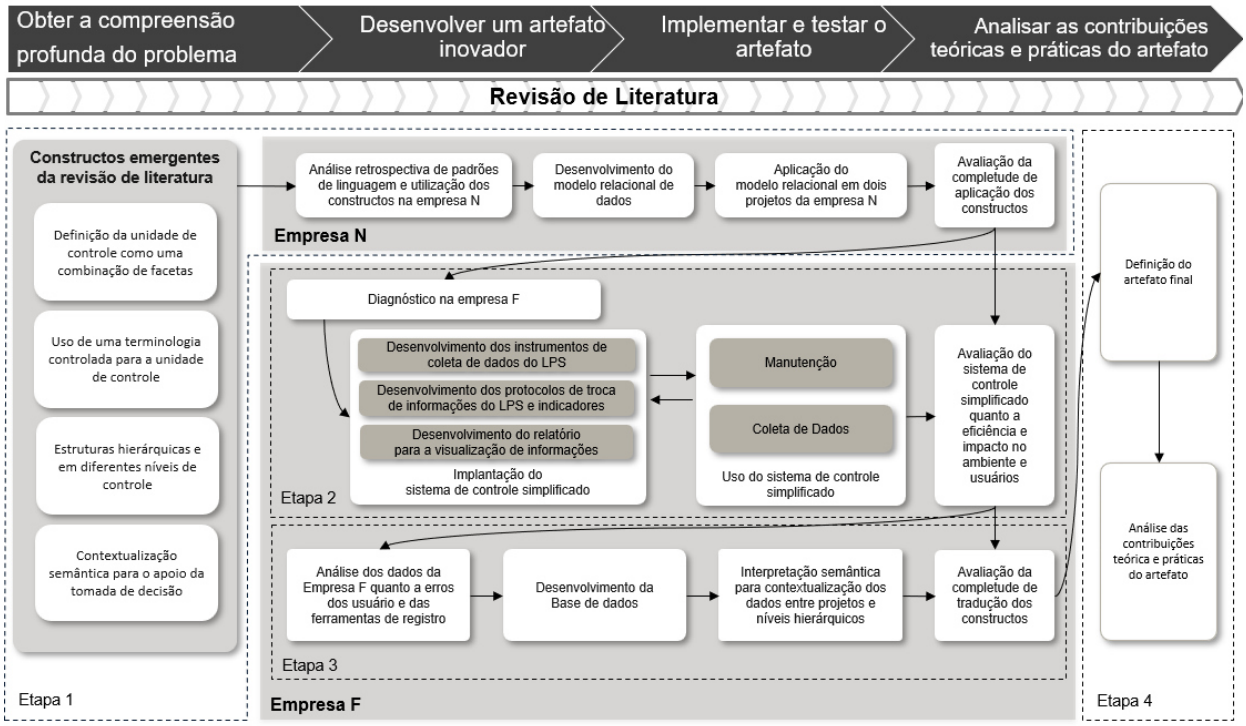
3.2 DELINEAMENTO

A presente pesquisa foi delineada com base nos princípios da DSR, estruturando-se em quatro etapas sequenciais e integradas: formalização, estruturação, contextualização e proposição do artefato final. Cada etapa corresponde ao desenvolvimento, implantação e avaliação de artefatos construídos a partir de constructos conceituais derivados de problemas reais observados no contexto da construção civil.

A Figura 8 apresenta a trajetória metodológica da pesquisa, articulando os ciclos de refinamento conceitual, os marcos empíricos nos dois estudos de caso e os entregáveis associados a cada fase. Essa trajetória inicia-se com a definição dos constructos a partir da literatura e sua aplicação retrospectiva no Estudo Empírico 1 (EE1 – Etapa 1), seguida pela implantação ativa no Estudo Empírico 2 (EE2 – Etapa 2) e posterior exploração da base de dados gerada (EE2 – Etapa 3), culminando na proposta de um modelo semântico de dados para apoiar a

aprendizagem organizacional por meio dos sistemas de planejamento e controle da produção (Etapa 4).

Figura 8 - delineamento da pesquisa



Fonte: elaborado pela autora.

Ao longo desta tese, os constructos não são apresentados de forma definitiva desde o início, mas sim como elementos progressivamente refinados, em consonância com a natureza iterativa da DSR. Na revisão de literatura, eles surgem como constructos emergentes, resultantes da síntese teórica que evidencia lacunas na integração entre LPS e BIM. No delineamento metodológico, passam a ser assumidos como constructos propostos para investigação, orientando a condução dos estudos empíricos. Nos capítulos de resultados, esses constructos são aplicados e refinados em dois contextos organizacionais, sendo avaliados quanto à sua completude. Por fim, no capítulo de apresentação do artefato, eles são formalizados como constructos finais, compondo a estrutura conceitual que sustenta o modelo semântico de dados proposto. Essa progressão evidencia que a construção teórica não é linear, mas resulta de ciclos de formulação, aplicação e consolidação, o que reforça a coerência entre a trajetória empírica da pesquisa e a lógica da DSR.

3.2.1 Etapa 1: Formalização da Aprendizagem

Na Etapa 1, buscou-se formalizar a aprendizagem organizacional por meio da construção de um conjunto inicial de constructos conceituais e da estruturação de um modelo relacional de dados. Utilizando dados retrospectivos de duas obras da empresa N, a pesquisa analisou a linguagem adotada pelos gestores das obras e seus limites na representação dos ciclos de controle do LPS. As principais fontes de evidência foram os registros históricos (cronogramas e planilhas), dados de relatórios acadêmicos anteriores e a experiência da pesquisadora como observadora participante. Como entregáveis, os constructos foram refinados, foi construído um modelo em notação ERD e, posteriormente, avaliado quanto a completude.

3.2.2 Etapa 2: Estruturação da Aprendizagem

A Etapa 2 teve como objetivo estruturar a aprendizagem organizacional em ambiente real, por meio da implantação de um sistema de controle simplificado baseado nos constructos definidos na fase anterior. Esse sistema de controle simplificado, aplicado na empresa F, não foi concebido para substituir o modelo em notação ERD, mas para atuar como instância intermediária em um contexto de menor maturidade tecnológica. Sua função foi centralizar registros de pacotes de trabalho, protocolos de troca de informações e indicadores, permitindo às equipes de obra experimentar uma estrutura de dados padronizada e comparável. O estudo envolveu um diagnóstico inicial na empresa, seguido da implantação do sistema com instrumentos de coleta, protocolos de troca de informações e relatórios gerenciais em BI. Logo em seguida, foi realizado um período de manutenção ao sistema simplificado implantado e a coleta de dados nas diferentes obras. As fontes de evidência incluíram entrevistas, observações em campo, documentos produzidos pelas equipes e registros do próprio sistema. Os principais entregáveis foram a institucionalização das práticas de LPS em sinergia com o sistema simplificado, a aplicação do sistema em 19 obras e a avaliação de sua eficiência técnica e impacto no ambiente e usuários.

3.2.3 Etapa 3: Contextualização da Aprendizagem

A Etapa 3 concentrou-se na contextualização da aprendizagem, a partir da exploração da base de dados estruturada durante a fase anterior. Buscou-se interpretar os dados históricos de produção para gerar conhecimento aplicado e sustentar a tomada de decisão em diferentes níveis de planejamento. Também foi explorada a hierarquia das unidades de controle, presente de maneira informal nos dados coletados da etapa 2, e, na etapa 3, formalizados no ERD. As fontes de evidência foram as consultas realizadas à base de dados, os relatórios gerados e os

cruzamentos entre planos e indicadores de produção. Os entregáveis dessa fase incluíram um ERD final, consultas semânticas orientadas à decisão e a avaliação da completude dos dados frente à lógica dos constructos propostos.

3.2.4 Etapa 4: Proposição do Artefato Final

A Etapa 4 consistiu na consolidação dos resultados obtidos nas fases anteriores, culminando na proposição do artefato final. Essa proposição envolveu a síntese dos diferentes tipos de resultados da DSR estruturados nesta tese — constructos, modelo conceitual, modelo operacional e instanciações — em uma configuração coerente de artefato capaz de apoiar a aprendizagem organizacional no planejamento e controle da produção. Essa etapa cumpriu as duas atividades previstas no delineamento metodológico:

a) analisar as contribuições teóricas, por meio da avaliação da consistência conceitual dos constructos e modelos e do avanço que oferecem ao conhecimento sobre PCP com suporte semântico; e

b) analisar as contribuições práticas, a partir das evidências das instanciações, que resultaram em prescrições de design aplicáveis em diferentes contextos organizacionais.

Os principais entregáveis foram a descrição formal do artefato final, em seu âmbito de constructos, modelo conceitual e modelo operacional. Dessa forma, a Etapa 4 posiciona o artefato como contribuição teórico-prática à literatura e à gestão da produção em projetos de construção.

3.3 ESTUDOS EMPÍRICOS E FONTES DE EVIDÊNCIAS

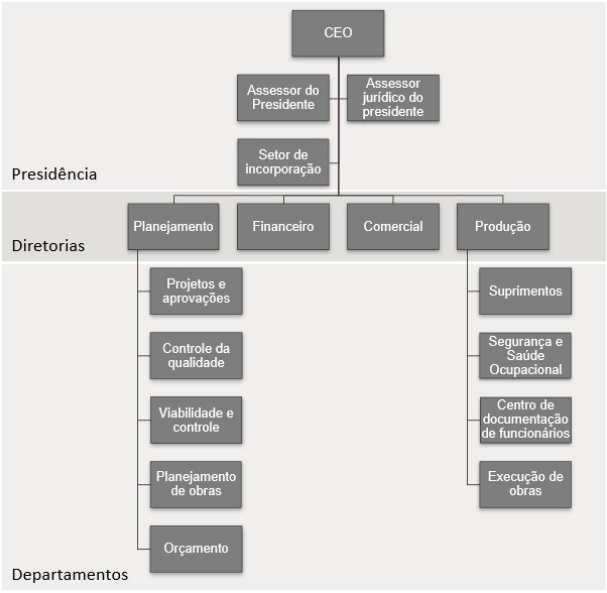
3.3.1 Estudo Empírico 1 (EE1)

3.3.1.1 Descrição da Empresa N e Sistema de Planejamento e Controle da Produção

A Empresa N era uma construtora e incorporadora de médio porte sediada na região metropolitana de Porto Alegre, com atuação em empreendimentos residenciais e comerciais de média e baixa renda. Fundada em 2013, como resultado da fusão de quatro construtoras, a empresa possuía certificações ISO 9001 e PBQP-H (nível A), além de um histórico de colaborações com o grupo NORIE/UFRGS. Desde 2000, aplicava sistematicamente o LPS em seus canteiros. Durante a realização do estudo, a Empresa N contava com 23 projetos concluídos, totalizando 5.795 unidades habitacionais, e três projetos em andamento, totalizando 1.027 unidades habitacionais. A estrutura organizacional era composta por quatro diretorias

(Figura 9), sendo a de Planejamento e Produção o foco deste estudo. A autora participou ativamente dessa diretoria entre 2013 e 2019.

Figura 9 - estrutura organizacional da empresa N



Fonte: elaborado pela autora.

O PCP da Empresa N seguia os princípios do LPS, estruturados em três horizontes (Quadro 11): longo prazo (metas globais), médio prazo (remoção de restrições e backlog operacional) e curto prazo (programação semanal com base em pacotes liberados). As ferramentas utilizadas incluíam cronogramas em MS Project para LP/MP e planilhas eletrônicas para CP. Apesar do uso sistemático dessas ferramentas, identificou-se que os níveis não estavam formalmente integrados nem conectados por uma estrutura de dados unificada.

Quadro 11 - planejamento e controle da produção por sistemas

Etapa		Descrição
Departamento envolvido		Planejamento de obras e Execução de obras
Níveis de Planejamento	**Longo (LP)**	Cronograma da obra
	Médio (MP)	Reuniões de médio prazo
	Curto (CP)	Reuniões de curto prazo
Controle		Progresso físico da obra, estimativa final de entrega da obra, índice de remoção e restrições, PPC, causas de não cumprimento dos planos

Fonte: elaborado pela autora.

3.3.1.2 Descrição dos Empreendimentos E17 e E22

A seleção dos projetos E17 e E22 baseou-se nas diferenças construtivas. O projeto E17 consistia na construção de 6 torres de apartamentos com 378 unidades, executadas em 31 meses, utilizando estruturas moldadas in loco e alvenaria portante, além de divisórias de gesso acartonado. Já o projeto E22 envolvia 206 casas em 16 quadras, construídas em 19 meses com paredes estruturais moldadas in loco. O Quadro 12 detalha as características de cada projeto. Além da escala e do porte, os dois empreendimentos diferem no modo de execução dos processos e elementos. O projeto E17 seguiu métodos mais tradicionais, incluindo etapas como alvenaria e reboco. Já o projeto E22 incorporou processos mais industrializados, eliminando algumas dessas etapas: as paredes moldadas in loco e portantes dispensaram a execução da alvenaria e do reboco, demandando apenas aplicação de textura e cerâmica.

Quadro 12 - descrição dos casos da empresa N

	E17	**E22**
Tipo de obra	Vertical	Horizontal
Início da obra	02/02/2015	01/11/2012
Término da obra	31/08/2017	27/05/2014
Duração da obra em meses	31	19
Padrão construtivo	Médio	Baixo
Número de unidades	378 apartamentos	206 casas
Fundações	Estacas, blocos e vigas	Radier
Lajes e pilares	Estrutura de concreto armado	
Paredes	Alvenaria de vedação paredes externas do apartamento Drywall paredes internas do apartamento	Parede moldada in-loco
Janelas	Janelas em alumínio	Janelas em PVC
Portas	Portas de madeira	Portas de madeira
Foto empreendimento		

Fonte: elaborado pela autora.

Outra diferença relevante está na organização espacial das equipes. Nas obras verticais (E17), o planejamento concentra-se nas torres, cujos fluxos produtivos seguem direções ascendentes ou descendentes bem definidas. Nas obras horizontais (E22), as atividades distribuem-se pelo terreno, com múltiplas frentes de serviço e fluxos em diferentes direções. Essa diferença estrutural — tanto em processos quanto em organização espacial — impacta diretamente a forma de definição das metas de produção e a estruturação dos pacotes de trabalho, facetas e hierarquias. Assim, a análise contemplou contextos produtivos com lógicas distintas, enriquecendo a avaliação sobre vocabulário, hierarquia das unidades de controle e registros de status

3.3.1.3 Fontes de Evidências

3.3.1.3.1 Analise Documental

Segundo Yin (2003), o uso de documentos é fundamental para corroborar e ampliar as evidências provenientes de outras fontes. No caso deste estudo empírico retrospectivo, a análise documental abrangeu planos de longo, médio e curto prazo desenvolvidos durante a execução dos empreendimentos, restrições registradas em diferentes horizontes de planejamento, fornecedores de serviços de construção, planilhas de indicadores e registros de causas de não cumprimento. A Tabela 1 apresenta em detalhe as fontes de evidência utilizadas.

No total, foram examinadas 166 planilhas de curto prazo, 23 arquivos do MS Project referentes ao médio prazo, 2 arquivos em PDF com planos de ataque e listas de restrições, além de 2 cronogramas de longo prazo no MS Project com suas respectivas linhas de balanço. Esses documentos resultaram em 24.427 pacotes de trabalho analisados no projeto E17 e 8.841 no projeto E22, considerando apenas as atividades relacionadas às edificações. Adicionalmente, foram identificados 75 fornecedores, 2 planilhas de indicadores consolidados e registros de restrições distribuídos entre os horizontes de planejamento.

Observou-se que os pacotes de longo e médio prazo apresentavam descrições mais padronizadas das unidades de controle, com base em terminologia definida em projetos anteriores da empresa. Já os pacotes de curto prazo eram elaborados diretamente pelas equipes de gestão das obras (engenheiros e auxiliares), o que resultava em maior variação na forma de definição das unidades de controle.

Além disso, a análise documental foi complementada pelo procedimento operacional adotado pela empresa para organizar os ciclos do LPS. Esse procedimento previa a utilização de ferramentas, responsabilidades, indicadores e processos padronizados para a implantação e sustentação das rotinas gerenciais do planejamento e controle da produção.

Tabela 1 - descrição da amostra e fontes de evidências

Itens	**Casos**		**Fontes de Evidências**
	E17	**E22**	
Nº de planos de curto prazo	99	67	166 planilhas eletrônicas
Nº de pacotes de trabalho de curto prazo	9.841	4.256	
Nº de fornecedores	45	30	
Planilhas de indicadores	1	1	2 planilhas eletrônicas
Nº de planos de médio prazo	23	-	23 arquivos de MS Project
Nº de pacotes de trabalho de médio prazo	10.891	-	
Nº de restrições de médio prazo	1.091	-	
Plano de ataque	1	1	2 arquivos em PDF
Nº de planos de longo prazo	1	1	2 arquivos de MS Project
Nº de linhas de balanço	1	1	
Nº de pacotes de trabalho de longo prazo	3.695	4.585	
Nº de restrições de longo prazo	25	-	

Fonte: elaborado pela autora.

3.3.1.3.2 Observação Participante

A observação participante, conforme definido por Yin (2003), é uma estratégia na qual o pesquisador não atua apenas como observador passivo, mas assume papéis ativos no contexto do estudo, podendo intervir e participar diretamente dos eventos. Essa abordagem foi particularmente relevante neste estudo, uma vez que se tratou de uma investigação retrospectiva sobre os empreendimentos E17 e E22, em que o engajamento da pesquisadora em atividades reais de planejamento e controle permitiu enriquecer a análise documental com evidências práticas.

O Quadro 13 sintetiza as principais atividades de observação participante realizadas. No empreendimento E17, destacam-se a condução de 8 reuniões de replanejamento de cronograma, a condução em 25 reuniões de médio prazo, além de uma simulação de estratégias de produção para fachada, envolvendo engenheiros, mestres e estagiários. Já no empreendimento E22, as contribuições concentraram-se em 6 reuniões de simulação de produção com uso de modelagem BIM 4D, em estudo anterior desenvolvido pela pesquisadora (Reck, 2013), e em 43 horas de facilitação de reuniões estratégicas, associadas à pesquisa de Leão (2014), voltadas à integração entre produção e qualidade, análise de retrabalho, pacotes informais e perdas por making-do.

Quadro 13 – fontes de evidência de observação participante

Atividade	**Descrição**	**Casos**	
		E17	**E22**
Replanejamento de cronograma da obra	Elaboração de cronograma de recuperação do prazo da obra com participação ativa do diretor e execução e engenheiro da obra	8 reuniões	NA
Reunião de Médio Prazo	Reunião de médio prazo com elaboração de lista de restrições e análise de indicadores. Participação ativa do engenheiro, mestre e estagiário e engenharia da obra	25 reuniões	NA
Simulação de cronograma da obra	Simulação de estratégias de produção para a fachada, compreendendo o impacto entre diferentes equipamentos de movimentação vertical das equipes. Participação ativa do engenheiro, mestre e estagiário e engenharia da obra.	1 simulação	NA
	Simulação de estratégia de produção do empreendimento com modelagem de eventos discretos e BIM4D (Reck, 2013). Participação ativa do engenheiro e coordenador de obras.	NA	6 reuniões
Facilitadora de reuniões estratégicas para discussão dos dados coletados	Análise e discussão dos dados coletados por Leão (2014). Coletas de dados sobre integrado entre qualidade e produção, retrabalho, pacotes informais e perdas por making-do.	NA	43 horas de coleta

Fonte: elaborado pela autora.

Essa experiência direta possibilitou captar aspectos operacionais que dificilmente emergiriam apenas pela análise documental, como padrões de variabilidade, mecanismos informais de coordenação e estratégias adotadas para estabilizar o fluxo de trabalho. Assim, a observação participante complementou o levantamento documental ao fornecer evidências sobre dinâmicas organizacionais, interação entre equipes, uso das ferramentas do LPS e desafios enfrentados na

prática cotidiana, consolidando uma visão mais ampla para a preparação e condução do estudo de caso desta tese.

3.3.1.3.3 Dados secundários

A Empresa N, como mencionado anteriormente, participou de diversos estudos desenvolvidos em parceria com o grupo de pesquisa NORIE/UFRGS. O Quadro 14 apresenta os principais trabalhos acadêmicos que utilizaram empreendimentos da empresa como objeto de análise e cujos registros serviram como fontes de evidência secundária nesta pesquisa. A utilização dessas fontes secundárias foi decisiva para complementar o diagnóstico inicial da pesquisa, permitindo acessar evidências históricas de obras já concluídas, sem necessidade de novas coletas primárias nesses casos.

Quadro 14 – fontes de evidência de estudos anteriores desenvolvidos na empresa N

Dados Secundários	Descrição	Casos
Linha de Balanço	Linha de balanço da obra E22, desenvolvida no MS Project e analisada por Biotto (2012), utilizada como base para o diagnóstico da etapa 1 deste trabalho.	E22
Modelagem 4D	Modelagem 4D da obra E22 no ArchiCAD e Synchro, elaborada em trabalho anterior por esta pesquisadora (Reck, 2013), com integração entre pacotes de trabalho e elementos BIM para simulação do planejamento.	E22
Controle da Produção e Perdas por improvisação	Diagrama em ERD para controle de produção e perdas por improvisação, proposto por Leão (2014) com aplicação na obra E22, estruturando dados de pacotes genéricos e específicos.	E22
Plano de médio prazo e lista de restrições	Lista de restrições da obra E17 e registros de programação de médio prazo, analisados por Rosa (2016), incluindo vínculos entre pacotes, restrições e indicadores de desempenho.	E17

Fonte: elaborado pela autora.

3.3.1.4 Etapa 1: Descrição das Atividades Realizadas

O EE1 foi realizado em três etapas distintas. Na primeira etapa, de diagnóstico do estado atual, buscou-se verificar o grau de padronização terminológica, a consistência semântica entre os diferentes níveis de planejamento e a existência de vínculos explícitos entre processo, elemento e local. Para tanto, foram analisados cronogramas de longo e médio prazo no MS Project (incluindo planos de ataque e linhas de balanço), planilhas de curto prazo preenchidas pelas equipes de obra e parametrizações de tarefas no MS Project. Fontes secundárias também foram

utilizadas, como a linha de balanço da obra E22 (Biotto, 2012), a modelagem 4D da mesma obra (Reck, 2013) e o diagrama ERD para controle de produção de (Leão, 2014). Essa etapa foi necessária para identificar fragilidades nos registros e diferenças de granularidade entre horizontes de planejamento, fornecendo subsídios para a etapa seguinte de estruturação relacional dos dados. As atividades e respectivas fontes de evidência encontram-se sintetizadas no Quadro 15.

Além da análise documental, a observação participante contribuiu para interpretar a aplicação prática dessas ferramentas e para identificar limitações na integração entre os níveis. As evidências permitiram mapear a linguagem empregada no PCP, a estrutura hierárquica das unidades de controle e os procedimentos de registro de status.

Na segunda etapa, de estruturação dos dados em notação ERD, concentrou-se a compilação e organização dos dados em uma estrutura relacional. Inicialmente, os planos de longo, médio e curto prazo foram agregados em uma planilha eletrônica única, consolidando informações de ambos os empreendimentos (E17 e E22). Em seguida, os dados foram estruturados em notação de ERD, com a definição de atributos como ID único, FatherID (para representar hierarquia) e a criação de tabelas normalizadas para classes distintas de informações (pacotes de trabalho, status, restrições, etc.). A escolha por estruturar os dados em formato relacional teve como finalidade garantir a rastreabilidade entre níveis, reduzir redundâncias de registro, permitir comparabilidade entre casos e criar uma base sólida para a aplicação das facetas definidas nesta pesquisa.

Na terceira etapa, de tratamento das unidades de controle em estrutura facetada, o objetivo foi viabilizar a transição para a modelagem semântica proposta. Esse processamento foi necessário porque as descrições originais apresentavam grande variação de termos, abreviações e redundâncias, dificultando análises comparativas. Assim, os pacotes de trabalho foram processados por meio de técnicas de mineração de texto, incluindo: limpeza das cadeias de caracteres (strings), eliminação de termos redundantes, transformação em linhas normalizadas e categorização dos elementos em classes significativas.

Nesta etapa, a faceta de processo foi estruturada com base na Tabela 22 da OmniClass™, derivada do MasterFormat®, enquanto a faceta de elemento foi organizada a partir da Tabela 21 da OmniClass™, derivada do UniFormat®. Já a faceta de local foi definida conforme as

classes do esquema IFC 4.0 e organizados segundo a hierarquia espacial dos empreendimentos — obra, torre, pavimento e trecho —, assegurando consistência entre diferentes níveis de agregação.

Quadro 15 - atividades desenvolvidas no diagnóstico do EE1

Etapa	Atividade	Descrição	Fontes de evidência utilizadas
Diagnóstico do estado atual	Análise da linguagem e o vocabulário utilizado	Verificar o grau de padronização terminológica, a coerência semântica entre níveis de planejamento e a existência de vínculos explícitos entre "processo–elemento–local".	Visualizações dos cronogramas de longo, linha de balanço e médio prazo no MS Project (análise documental)
			Plano de ataque (análise documental)
			Planilhas de curto prazo preenchida dos casos (análise documental)
			Parametrizações de tarefas no MS Project (análise documental)
			Médio prazo e lista de restrição da obra E17 Rosa (2016) (dados secundários)
			Linha de balanço da obra E22 (Biotto, 2012) (dados secundários)
			modelagem 4D da obra E22 no ArchiCAD (Reck, 2013) (dados secundários)
			Observação participante relatadas no item 3.3.1.3.2
	Análise da estrutura hierárquica das unidades de controle	Identificar como as Unidades de Controle são decompostas e agregadas	Estruturas hierárquica do MS Project (análise documental)
			Parametrizações de tarefas no MS Project (análise documental)
			Planilhas de curto prazo preenchida dos casos (análise documental)
			Diagrama em ERD para controle de produção e qualidade (Leão, 2014)
			Observação participante relatadas no item 3.3.1.3.2
	Análise do registro dos status dos pacotes de trabalho	Entender como status e restrições são registrados, consolidados e retroalimentados entre os horizontes de planejamento, e em que medida há integração entre ferramentas.	Procedimento operacional (análise documental)
			Planilhas de curto prazo preenchida dos casos (análise documental)
			Planilhas de indicadores preenchida dos casos (análise documental)
			Barra de ferramentas no MS Project (análise documental)
			Observação participante relatadas no item 3.3.1.3.2

Fonte: elaborado pela autora.

As atividades da estruturação e processamento de dados e as respectivas fontes de evidência estão sistematizadas no Quadro 16.

Quadro 16 - atividades desenvolvidas na estruturação e processamento de dados no EE1

Etapa	Atividade	Descrição	Fontes de evidência utilizadas
Estruturação dos dados	Compilação dos dados em notação ERD	Agregação de dados dos planos (longo, médio e curto) em uma única planilha eletrônica	Amostra dos casos E22 e E17 (análise documental)
	Estruturação dos dados em notação de ERD	Uso da notação de ERD e organização dos dados em tabelas com classes distintas	Amostra dos casos E22 e E17 (análise documental)
Tratamento das unidades de controle	Tratamento dos pacotes de trabalho	Uso da mineração de texto para tratamento das unidades de controle de uma cadeia de caracteres (string) para facetas	Amostra dos casos E22 e E17 (análise documental)
	Uso de terminologia controlada	Classificação dos termos facetados pelas tabelas 22 e 21 da OmniClass™ e estrutura controlada de local	Tabelas 22 e 21 da OmniClass™ e análise documental dos casos E22 e E17.

Fonte: elaborado pela autora.

Por fim, avaliou-se a completude dos constructos quanto à capacidade do modelo semântico em representar, de forma estruturada, as informações necessárias, discutidas em detalhes no item 3.4.1 Etapa 1: Avaliação da Formalização da Aprendizagem na Organização (EE1).

3.3.2 Estudo Empírico 2 (EE2)

3.3.2.1 Descrição da Empresa F

A empresa F é uma construtora e incorporadora de médio porte localizada em Criciúma. A empresa desenvolve projetos residenciais (de média e alta renda) no Estado do Santa Catarina, no Sul do Brasil. A empresa F foi fundada em 1986 com o primeiro empreendimento sendo entregue em 1987. Diferentemente da empresa N, a empresa F não possui certificação ISO ou SIAQ, pois utiliza recursos próprios para o financiamento dos seus empreendimentos. A empresa F também não possuía um sistema de planejamento e controle da produção baseado no Last Planner System no início do projeto. Durante a realização do estudo, a empresa F possuía mais de 100 projetos concluídos, 19 projetos em andamento, totalizando 162.000 metros quadrados de área construída.

A Figura 10 mostra a estrutura organizacional da empresa, incluindo o Diretor Executivo (CEO), e três diretorias: operações, comercial e viabilidade e controle. Nessa estrutura, a diretoria de operações realiza o desenvolvimento de projetos, compra de insumos e a contratação de mão de obra para a execução dos serviços. A diretoria de viabilidade de controle realiza o orçamento da obra e controle de resultado final do empreendimento. No contexto da empresa F a personalização das unidades tem papel importante nas definições de comprar de materiais e planejamento das atividades em canteiro em fases finais da obra. Empreendimentos de média renda, apenas algumas opções de customização são oferecidas para o cliente final, mas empreendimentos de alta renda é oferecido ao cliente final os itens que não podem ser modificados na planta, permitindo a personalização da unidade adquirida.

Figura 10 - estrutura organizacional da empresa F



Fonte: elaborado pela autora.

Ao total participaram 16 usuários da empresa F com experiências na construção civil, função, tempo de empresa e de horas dedicadas ao projeto diferentes entre si. A Tabela 2 apresenta um resumo destas experiências. Vale ressaltar que o diretor de operações é o mesmo diretor de produção da empresa N e idealizador do estudo na empresa F. Durante o estudo houve troca do gerente C pelo B e o multiplicador Lean foi treinado durante a segunda etapa do estudo, sendo realocado do setor de suprimentos para a função de planejamento de obras. Os outros 12 usuários são engenheiros de obras com horas dedicadas variadas ao longo do desenvolvimento do estudo.

Tabela 2 - caracterização da experiência dos 17 usuários no estudo da empresa F

Usuários		Função	Tempo de empresa (anos)	Tempo na função (anos)	Tempo na construção civil (anos)	Horas dedicadas durante projeto
1	A	Multiplicador Lean	6	28	7	197:29
2	B	Gerente	1,5	55	14	48:05
3	C	Gerente	25	17	23	57:40
4	D	Diretor de Operações	2	2	39	101:20
5	E	Engenheiro de Obras	17	7	28	50:00
6	F	Engenheiro de Obras	8	8	8	61:05
7	G	Engenheiro de Obras	8,5	-	-	56:00
8	H	Engenheiro de Obras	2	2	6	0:00
9	I	Engenheiro de Obras	6	2	6	4:30
10	J	Engenheiro de Obras	5	5	18	15:30
11	K	Engenheiro de Obras	2	2	13	0:00
12	L	Engenheiro de Obras	4	3	4	40:00
13	N	Engenheiro de Obras	-	-	-	17:45
14	O	Engenheiro de Obras	12	12	17	34:18
15	P	Engenheiro de Obras	18	18	24	60:55
16	Q	Engenheiro de Obras	8	8	15	59:21
		Total	**97**	**68,5**	**126,5**	**170,5**

Fonte: elaborado pela autora.

3.3.2.2 Descrição dos Empreendimentos

O estudo na empresa F teve um caráter mais abrangente nas obras que o desenvolvido na empresa N. Dessa forma, praticamente todos os empreendimentos da empresa participaram do EE2. Estes empreendimentos tem três tipologias construtivas, apresentadas na Quadro 17 , como: torre vertical de média e alta renda, infraestrutura de loteamento, sendo a execução das áreas de uso comum destes empreendimentos horizontais o objeto de estudo, e condomínio de torres de média e baixa renda.

Quadro 17 - descrição das tipologias construtivas dos projetos no EE2

Elemento Construtivo	**Tipologias de Obras**		
	Torre Média/Alta Renda	**Infraestrutura de Loteamento**	**Condomínio de Torres**
Fundações	Estaca escavada/hélice contínua	Radier	Radier
Estrutura	Concreto armado moldado in-loco	Concreto armado moldado in-loco	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e laje pré-moldada
Paredes	Alvenaria portante de bloco cerâmico	Alvenaria portante de bloco cerâmico	
Cobertura	Estrutura metálica e telhas	Estrutura metálica e telhas	Estrutura metálica e telhas
Acabamento piso	Piso vinílico e cerâmica sobre contrapiso	Piso vinílico e cerâmica sobre contrapiso	Piso vinílico e cerâmica sobre contrapiso
Acabamento das paredes internas	Pintura sobre massa corrida e recobo interno	Pintura sobre massa corrida	Pintura sobre massa corrida
Acabamento interno tetos	Forro de gesso ou pintura sobre laje	Forro de gesso ou pintura sobre laje	Forro de gesso ou Pintura sobra laje
Acabamento das paredes externas	Pintura, pastilha ou ACM sobre massa única	Pintura ou pastilha sobre massa única	Pintura ou pastilha sobre massa única
Esquadrias	Alumínio	Alumínio	Alumínio
Obras	**1 a 12, 15 e 16**	**13**	**14**

Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 3 apresenta os 16 empreendimentos que participaram do estudo, especificando os usuários na gestão da obra, área construída, tipologia construtiva, tempo total de duração da obra e horas dedicadas ao EE2. Vale ressaltar que cada obra participou de etapas distintas do EE2, variando assim o tempo de horas dedicadas ao projeto e a homogeneidade da implantação, sendo esta maturidade de uso do sistema de informações e PCP variável. Estas etapas serão detalhadas na seção seguinte.

Tabela 3 - descrição dos 19 projetos no EE2

Obra	Engenheiro	Área Construída (m2)	Tipologias de Obras	Duração Obra (meses)	Horas dedicadas durante projeto
1	Q	14.295,42	Torre Média/Alta Renda	59	22:44
2	Q	9.289,38	Torre Média/Alta Renda	33	30:30
3	E	11.019,55	Torre Média/Alta Renda	53	30:30
4	P	7.092,28	Torre Média/Alta Renda	33	44:45
5	G, O, P	16.175,40	Torre Média/Alta Renda	24	18:40
6	F, P, Q	18.639,46	Torre Média/Alta Renda	45	17:00
7	F	7.587,00	Torre Média/Alta Renda	35	32:30
8	O, E	4.831,45	Torre Média/Alta Renda	33	34:25
9	F	6.394,42	Torre Média/Alta Renda	38	10:45
10	J, H	12.329,00	Torre Média/Alta Renda	39	8:30
11	G, N	9.335,24	Torre Média/Alta Renda	52	22:45
12	P	10.265,29	Torre Média/Alta Renda	18	14:30
13	E, I	636,37	Infraestrutura de Loteamento	14	13:15
14	G, K	20.354,36	Condomínio de Torres	39	33:00
15	L	5.302,53	Torre Média/Alta Renda	28	11:30
16	N	9.332,00	Torre Média/Alta Renda	34	9:45
Total		**162.879,15**		**594**	**357:34**

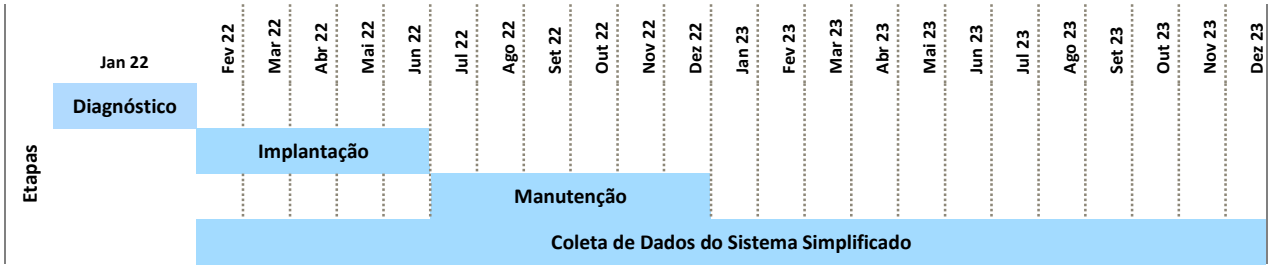
Fonte: elaborado pela autora.

3.3.2.3 Etapa 2: Descrição das Atividades Realizadas e Fontes de Evidências

O estudo foi dividido em quatro etapas distintas e apresentada na Figura 11. Primeiramente foi realizado um diagnóstico na primeira semana de intervenção, na qual 6 obras foram visitadas por esta pesquisadora. Logo em seguida iniciou a etapa de implantação do sistema de planejamento e controle da produção e treinamentos com as equipes. Esta etapa durou de 31/01/22 à 06/07/22 (5 meses) em que foi definido o sistema de informação simplificado e implementado as planilhas eletrônicas de controle e relatório integrado em BI. Nesta etapa, 10 obras já faziam parte do estudo.

Após o término da implantação, foi de interesse do diretor de operações da empresa manter um período de manutenção do sistema, já que o mesmo iria realizar algumas modificações no quadro funcional na sua diretoria. Neste momento a multiplicadora Lean iniciou as atividades no setor de planejamento e controle da produção, dando suporte as rotinas implantadas nas etapas anteriores do projeto. Este período foi de 6 meses, de 07/07/22 até 31/12/ 22, e foi realizado uma atualização do sistema de informação simplificado para dar suporte a comparação das datas entre níveis de planejamento nas planilhas de cada obra.

Figura 11 - cronograma de atividades no EE2 – etapa 2



Fonte: elaborado pela autora.

Até este momento, a intervenção desta pesquisadora era ativa na empresa F, sempre participante de todas as reuniões de planejamento e controle das obras, assim como todas as decisões quanto ao uso do sistema de informação simplificado. Após o término da manutenção, o papel desta pesquisadora passou a ser apenas de observação e com poucas intervenções. Foram coletados dados de todas as fases do estudo, totalizando 23 meses de acompanhamento.

As fontes de evidências são apresentas na Quadro 18 e discriminadas por etapa do estudo empírico. No diagnóstico apenas entrevistas, planos de longo prazo, visitas as obras e avaliações do sistema de planejamento e controle, através do índice de boas práticas de planejamento proposto por Reck (2010) foram realizados.

Na etapa do diagnóstico, 6 obras foram visitadas, 16 entrevistas com colaboradores da empresa foram realizadas (6 engenheiros de obra, 3 mestres, gerente de obras, setor de orçamento, suprimentos, projetos e personalização), documentos de formalização de processos da empresa F foram analisados, uma reunião de identificação e categorização das oportunidades de melhoria no fluxo de informação foi realizado. Na etapa de implantação, entrevistas sobre o uso do sistema, uma segunda avaliação do índice de boas práticas de planejamento na empresa F, 182 observação participantes realizadas e 147 planos de 10 obras foram obtidos. Na etapa de

manutenção do sistema, 144 observação participantes realizadas e 322 planos de 16 obras foram obtidos. Por fim, após a manutenção, esta pesquisadora teve acesso a 707 planos de 17 obras.

Quadro 18 - fontes de evidência descritas de acordo com as etapas do EE2

Fonte de Evidência		Etapas			
		Diagnóstico	Implantação	Manutenção	Coleta de Dados
Entrevistas		11 entrevistas	8 entrevistas	-	-
		7 usuários C, E, F, G, O, P, Q	6 usuários A, C, F, O, P, Q	-	-
		4 setores - Personalização, Orçamento, Suprimentos, Projetos.			
Protocolo de avaliação: índice de boas práticas		1 avaliação para as 6 obras visitadas	1 avaliação geral das 9 obras	-	-
Observação Participante	Observações	8 observações	182 observações	144 observações	-
	Obras	6 Obras 2, 3, 4, 5, 7, 11	10 obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11	17 obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	-
	Horas	6:15:00	152:08:00	147:05:00	-
	Participantes	8 usuários C, D, E, F, G, O, P, Q	12 usuários A, C, D, E, F, G, J, L, N, O, P, Q	3 usuários A, B, D	-
		5 setores - Controladoria, Orçamento, Suprimentos, Projetos, Diretoria.	2 setores - Projetos e Diretoria	2 setores - Controladoria e Diretoria	
Análise Documental	Planos de Longo	6 obras 2, 3, 4, 5, 7, 11	10 obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11	17 obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	17 obras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
	Planos de Médio		10 obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11	17 obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	17 obras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
			37 planos	79 planos	131 planos
	Planos de Curto		7 obras 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8	12 obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16	17 obras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
			100 planos	226 planos	559 planos

Legenda: As letras representam os usuários no estudo e discriminados na Tabela 2.
Os números representam as obras e discriminados na Tabela 3.

Fonte: elaborado pela autora.

As observações participantes são detalhadas na Quadro 19. Estas foram diferentes visitas às obras, workshops de treinamentos e apresentação de resultado, reuniões de avaliação dos

sistemas de PCP e elaboração dos planos de longo, médio e curto prazo das diferentes obras. Entre a etapa de implantação e manutenção, reuniões de análise do sistema de planejamento e controle foram realizadas para fazer a transição entre o gerente C e o B. Nestas ocasiões, indicadores específicos foram integrados ao sistema de informação devido a experiência solicitação do gerente B.

Quadro 19 - tipos de observação participante realizadas de acordo com as etapas do EE2

Tipo de observação	Etapas		
	Diagnóstico	**Implantação**	**Manutenção**
Visita a Obra	6 visitas 6 Obras 2, 3, 4, 5, 7, 11 6:15:00	25 visitas 5 obras 1, 2, 3, 7, 8 17:39:00	3 visitas 3 obras 3, 4, 8 3:00:00
Workshop (WS)	2 WS de priorização de dificuldades percebidas 8 usuários C, D, E, F, G, O, P, Q 5 setores - Controladoria, Orçamento, Suprimentos, Projetos, Diretoria.	2 WS de treinamento LPS 1 WS resultado do diagnóstico 2 WS resultado implantação 12 usuários A, C, D, E, F, G, J, L, N, O, P, Q 2 setores - Projetos e Diretoria	1 WP avaliação software de LOB 1 WP resultado manutenção 3 usuários A, B, D 2 setores - Controladoria e Diretoria
Análise do sistema de PCP		14 reuniões 7 usuários A, C, D, F, O, P, Q 2 setores - Orçamento e Suprimentos	2 reuniões para alinhamento do novo gerente 1 reunião análise software de LOB 3 usuários A, B, D
Revisão LOB		14 revisões 8 obras 1, 2, 4, 6, 7, 8, 10, 11 26:30:00	22 revisões de LOB 6 obras 3, 6, 12, 13, 14 32:05:00
Preparação Médio e Curto		44 preparações 11 obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 61:45:00	45 preparações 15 obras 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 64:45:00
Reunião Médio		55 reuniões de curto 10 obras - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 28:35:00	66 reuniões 17 obras - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 44:15:00
Reunião Curto		25 reuniões de curto 5 obras - 1, 2, 3, 7, 8 17:39:00	3 reuniões 3 obras - 3, 4, 8 3:00:00

Legenda:
As letras representam os usuários no estudo e discriminados na Tabela 2.
Os números representam as obras e discriminados na Tabela 3.

Fonte: elaborado pela autora.

3.3.2.4 Etapa 3: Descrição das Atividades Realizadas e Fontes de Evidências

A Quadro 20 apresenta a descrição das atividades realizadas após a coleta de dados do EE2, com foco na análise do sistema de informação implantado nas obras da empresa F e no desenvolvimento da base de dados para posterior interpretação da modelagem semântica. O objetivo desta etapa foi aprofundar a compreensão sobre o uso do sistema simplificado de planejamento e controle pelas equipes de obra, consolidar a estrutura hierárquica das facetas produtivas e construir um modelo relacional de dados capaz de sustentar análises semânticas e apoiar decisões táticas.

Quadro 20 - atividades desenvolvidas no EE2 – etapa 3

Etapa	Atividade	Descrição
Desenvolvimento da Base de dados	Definição da hierarquia de processo e local	Estruturação das facetas de processo e local em níveis hierárquicos, com base em diagramas de precedência e segmentações espaciais das obras
	Definição da hierarquia da unidade de controle	Identificação de padrões de agregação e detalhamento dos pacotes de trabalho e definição da estrutura em ERD
	Estruturação dos dados em notação de ERD	Transformação da estrutura de planilhas em modelo relacional, com definição de entidades, atributos, chaves e relações.
Interpretação semântica dos dados	Análise dos dados contextualizados	Realização de consultas no banco de dados para cruzamento entre pacotes, causas, restrições e ciclos de controle, evidenciando padrões de decisão tática e reprogramação

Fonte: elaborado pela autora.

A Obra 4 foi utilizada como principal referência para as análises de interpretação semântica, por apresentar maior completude, continuidade nos registros e por ter sido a única obra entregue dentro do prazo originalmente previsto. As demais obras forneceram dados complementares para a consolidação das hierarquias de processo, local e unidade de controle, além de permitirem identificar práticas institucionalizadas no uso do sistema. As evidências foram reunidas a partir de reuniões de planejamento, planilhas digitais, entrevistas com engenheiros e análise dos arquivos enviados à consultoria durante a etapa 2 do estudo.

A primeira atividade concentrou-se no desenvolvimento da base de dados. As facetas de processo e local foram estruturadas em níveis hierárquicos, com apoio de vocabulários controlados desenvolvidos pela organização e alinhamento parcial ao padrão IFC. A unidade

de controle foi analisada para identificar padrões de agregação e detalhamento utilizados pelas equipes. Essa estrutura resultou na conversão da base para notação ERD, com definição de identificadores únicos, chaves relacionais e normalização das tabelas, possibilitando consultas cruzadas entre planos, causas e restrições. A última atividade envolveu a interpretação semântica dos dados, com a Obra 4 utilizada como caso demonstrativo de aplicação. Foram realizadas consultas no banco de dados para analisar reatribuições de pacotes, desvios em relação à linha de balanço, causas de não cumprimento e registros de restrições, evidenciando o potencial da estrutura semântica para apoiar decisões táticas e retroalimentar o planejamento da produção. Esse exercício demonstrou como os dados, quando organizados segundo a lógica proposta, possibilitam a transição de um modelo prescritivo para um sistema de planejamento adaptativo, baseado em evidências. As práticas analisadas ao longo da etapa 3 permitiram identificar o potencial da modelagem de dados para apoiar processos de aprendizagem organizacional baseados em informações contextuais. Por fim, avaliou-se a completude dos constructos quanto à capacidade do modelo semântico em representar, de forma estruturada, as informações necessárias à tomada de decisão — tema que será aprofundado na 3.4.5 Etapa 3: Avaliação da Contextualização da Aprendizagem nos Projetos (EE2).

3.4 AVALIAÇÃO E REFLEXÕES DO ARTEFATO

De acordo com a literatura, cada tipo de artefato desenvolvido no contexto da DSR pode ser avaliado por categorias específicas (Quadro 21). March e Smith (1995) definem constructos, modelos e instanciações como tipos de resultados, cada qual com critérios próprios de avaliação.

O artefato proposto foi avaliado em diferentes estágios e ambientes, refletindo os ciclos de melhoria contínua que estruturam o LPS. Para organizar esse processo, adotou-se a *Framework for Evaluation in Design Science* (FEDS), de Venable et al. (2016), que reconhece a importância de avaliações distribuídas ao longo do desenvolvimento. Cada etapa da pesquisa utilizou estratégias avaliativas distintas, combinando avaliações formativas e somativas, aplicadas tanto em ambientes artificiais (como estudos retrospectivos) quanto em ambientes naturais (de uso real e institucional).

Quadro 21 - categorias de avaliação por resultado da DSR

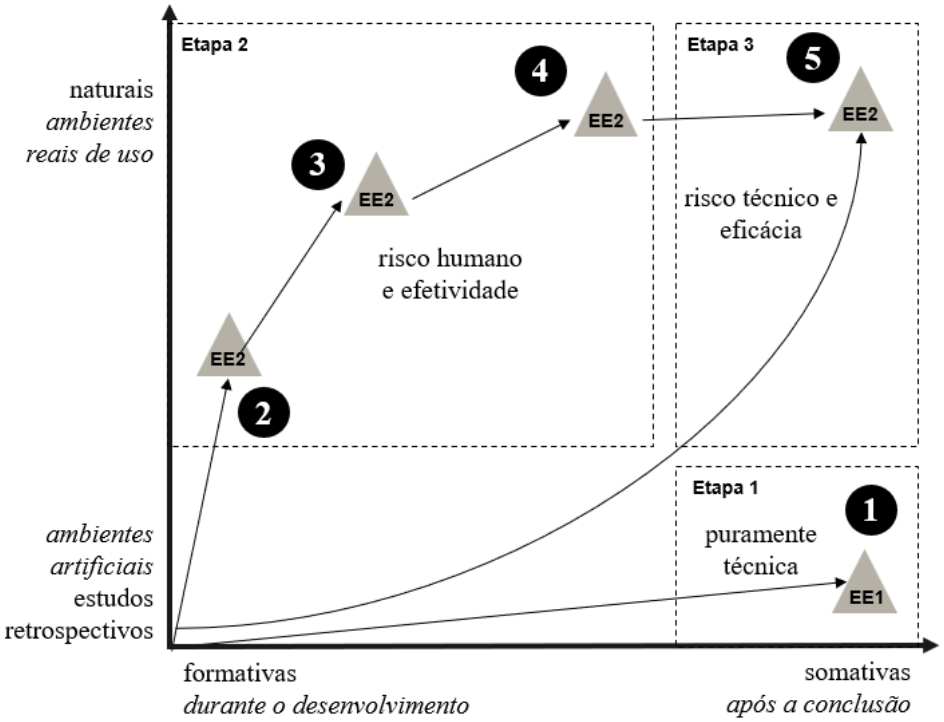
Resultado da DSR	Categoria de avaliação pela literatura	Categoria para este trabalho
Constructos	Completude, Simplicidade, Elegância, Entendibilidade e Facilidade de uso são sugeridos por March e Smith (1995)	Completude
Modelos	Fidelidade com os fenômenos do mundo real, Completude, Nível de detalhe, Robustez e Consistência interna são sugeridos por March e Smith (1995)	Completude e Consistência interna
Instanciações	Eficiência e eficácia do artefato e Impactos no ambiente e nos usuários são sugeridas por March e Smith (1995)	Eficiência e impactos no ambiente/usuários

Fonte: elaborada pela autora.

As avaliações formativas são realizadas durante o desenvolvimento do artefato, com a função de orientar ajustes e refinamentos ao longo do processo (Venable; Pries-Heje; Baskerville, 2016). Elas permitem identificar falhas, incoerências ou oportunidades de melhoria antes da consolidação do resultado final, funcionando como ciclos de aprendizagem incremental (Venable; Pries-Heje; Baskerville, 2016). Já as avaliações somativas ocorrem após a estabilização do artefato e têm como objetivo verificar se ele atende aos propósitos definidos, validando sua efetividade em relação às metas propostas (Venable; Pries-Heje; Baskerville, 2016). Assim, enquanto as avaliações formativas cumprem um papel de suporte ao desenvolvimento, garantindo a evolução contínua do artefato, as avaliações somativas exercem um papel de verificação, assegurando que o resultado final seja robusto e aplicável ao contexto de uso.

A Figura 12 apresenta o mapeamento dos cinco eventos de avaliação realizados nesta tese, organizados conforme os eixos de classificação da FEDS e por etapa em que foi realizado neste trabalho.

Figura 12 - eventos de avaliação segundo a FEDS



Legenda:
1. Avaliação quanto a completude dos constructos conceituais
2. Avaliação do sistema de PCP da empresa F (diagnóstico)
3. Avaliação eficácia do sistema simplificado implantado
4. Avaliação do impacto no ambiente e usuários
5. Avaliação quanto a completude dos constructos conceituais

Fonte: adaptado de Venable et al. (2016)

O Quadro 22 sintetiza essa correlação entre resultados da DSR, categorias de avaliação e eventos da FEDS, evidenciando como cada etapa de avaliação contribuiu para validar dimensões distintas do artefato.

Embora o processo de avaliação tenha sido estruturado em múltiplos eventos, combinando avaliações formativas e somativas em ambientes artificiais e naturalistas, conforme preconizado pela FEDS (Venable et al., 2016), esta pesquisa apresenta uma limitação inerente ao seu delineamento. A autora participou diretamente da definição dos constructos, do desenvolvimento do artefato e da condução das avaliações técnicas, o que pode introduzir vieses na interpretação dos resultados. Buscando mitigar essa limitação, foram adotados mecanismos de triangulação, incluindo a aplicação do artefato em diferentes estudos empíricos, a utilização de dados reais de organizações distintas e avaliações conduzidas junto aos usuários do sistema. Ainda assim, os resultados devem ser compreendidos como evidências da aplicabilidade e

utilidade do artefato no contexto investigado, e não como uma validação definitiva de sua generalização para outros contextos.

Quadro 22 – correlação entre resultados da DSR, categorias de avaliação e eventos

Resultado da DSR	Categoria a ser avaliada	Evento de avaliação
Constructos	Completude	1 e 5: Avaliação quanto a completude dos constructos conceituais
Modelos	Consistência interna	2. Avaliação do sistema de PCP da empresa F (diagnóstico) 3. Avaliação eficácia do sistema simplificado implantado 4. Avaliação do Impacto no Ambiente e Usuários
	Completude	1 e 5: Avaliação quanto a completude dos constructos conceituais
Instanciações	Eficiência	2. Avaliação do sistema de PCP da empresa F (diagnóstico) 3. Avaliação eficácia do sistema simplificado implantado
	Impactos no ambiente/usuários	4. Avaliação do Impacto no Ambiente e Usuários

Fonte: elaborada pela autora.

3.4.1 Etapa 1: Avaliação da Formalização da Aprendizagem na Organização (EE1)

A primeira avaliação teve como foco a verificação da completude dos constructos conceituais definidos a partir da literatura e aplicados retrospectivamente aos dados do EE1. O objetivo foi avaliar se os elementos propostos — especialmente os pacotes de trabalho estruturados com base nas facetas de processo, elemento e local — eram suficientes para representar, com coerência e abrangência, as unidades de controle dos planos analisados. No contexto da FEDS, essa avaliação está posicionada no eixo formativo, técnico e artificial. Esse posicionamento se justifica por três razões principais:

a) A avaliação foi conduzida durante o desenvolvimento dos constructos, servindo como base para o refinamento da estrutura conceitual inicial;
b) Foi realizada em um ambiente artificial, a partir da análise retrospectiva de dados históricos de duas obras, sem envolvimento dos usuários no processo de uso;
c) Teve caráter predominantemente técnico, com foco na aderência da estrutura semântica aos dados disponíveis, sem risco direto aos usuários ou ao desempenho organizacional.

A principal implicação dessa posição no modelo FEDS é que essa avaliação atua como fundamento técnico-conceitual para as etapas posteriores. Ela não mede a efetividade

organizacional do artefato, mas garante que sua lógica estrutural seja aplicável e mensurável no contexto real. A avaliação foi operacionalizada com base em critérios derivados da literatura, com foco na categoria de completude dos constructos (March; Smith, 1995). Os parâmetros adotados estão descritos no Quadro 23, conforme sintetizado a seguir:

a) Representação combinatória dos pacotes de trabalho, a partir da união entre processo, elemento e local, medida pelo indicador %AEL;
b) Precisão da terminologia controlada, calculada pela razão entre número de classes com terminologia controlada e número de termos;
c) Impacto de termos repetidos com baixa precisão, calculada pela razão entre número de pacotes de trabalho com terminologia controlada e número de termos;
d) Capacidade de representar hierarquias com base na classificação IFC e OmniClass™;
e) Capacidade da estrutura de dados em ERD em registrar e realizar consultas por status de produção.

Quadro 23 - parâmetros de avaliação da completude no EE1

Categoria de avaliação	**Constructos**	**Descrição da Avaliação**	**Parâmetro de Avaliação**
Completude (capacidade dos constructos de fornecer uma representação abrangente e suficiente para incluir todos os elementos necessários no contexto de aplicação)	A definição da unidade de controle, o pacote de trabalho (PT), sendo uma combinação única entre as facetas de processo, elemento e local	Todos os pacotes de trabalho podem ser expressos com um a combinação de ação, elemento e local?	% de pacotes de trabalho com a combinação de processo, elemento e local (%AEL)
	A terminologia controlada é suficiente para descreveram as facetas dos casos estudados?	Qual é a precisão da terminologia de cada faceta?	Precisão = número de classes com terminologia controlada / número de termos
		Qual o impacto de um termo repetido (com baixa precisão) na base de dados?	Impacto = número de pacotes de trabalho com terminologia controlada / número de termos
	Hierarquia da unidade de controle pela norma OmniClass™ e local (IFC)	Capacidade de representar metas de produção nos diferentes níveis de planejamento.	Avaliação qualitativa do uso da OmniClass™, IFC e PT_FatherID
	Registro e consultas das unidades de controle em ERD.	Capacidade da estrutura de dados em ERD de registrar e viabilizar consultas por status de produção.	Avaliação qualitativa do uso

Fonte: elaborado pela autora.

Essa avaliação permitiu validar a completude dos constructos propostos e identificar pontos críticos de imprecisão terminológica e inconsistências, que foram fundamentais para o desenvolvimento do modelo relacional da Etapa 2.

3.4.2 Etapa 2: Avaliação da Estruturação da Aprendizagem na Organização (EE2) – Diagnóstico

A segunda avaliação corresponde à etapa de diagnóstico organizacional realizada antes da implantação do sistema de controle simplificado na empresa F. Seu objetivo foi compreender as fragilidades e potencialidades do sistema de planejamento e controle da produção (PCP) em uso, com foco na identificação de dificuldades enfrentadas pelos usuários, maturidade das práticas aplicadas, grau de integração entre setores e limitações da ferramenta de programação vigente. No contexto da FEDS, essa avaliação encontra-se posicionada no quadrante formativo, técnico e artificial. Esse posicionamento é justificado por três fatores:

a) Foi realizada durante o desenvolvimento do artefato, servindo como base para sua adaptação à realidade da organização;
b) Ocorreu em um ambiente entre o artificial e natural, pois os dados analisados foram obtidos antes da implantação efetiva do sistema, mas na organização;
c) A natureza da avaliação foi técnica e diagnóstica, voltada à compreensão da eficácia do sistema atual e das oportunidades de melhoria.

A principal implicação desse tipo de avaliação é permitir o alinhamento entre o artefato em desenvolvimento e o contexto real da organização, garantindo que as intervenções propostas sejam fundamentadas em evidências práticas. Os parâmetros adotados estão descritos no Quadro 24, conforme sintetizado a seguir:

a) dificuldades relatadas nas entrevistas pelos usuários;
b) grau de fragmentação do sistema de PCP;
c) grau de maturidade das práticas de PCP;
d) aderência da ferramenta de programação ao modelo produtivo;
e) capacidade do sistema de PCP em evitar atrasos, através de evidências da curva S e ferramenta de programação.

Quadro 24 - parâmetros de avaliação no diagnóstico do EE2

Categoria de avaliação	Descrição da Avaliação	Parâmetro de Avaliação
Impactos no ambiente/usuários (esforço necessário para aprender, compreender e aplicar um artefato ao resolver problemas ou realizar tarefas específicas)	Dificuldades relatadas nas entrevistas quanto ao sistema de planejamento	Identificar o percentual de dificuldades relatadas nas entrevistas que poderiam ser tratadas pelas rotinas de curto, médio ou longo prazo
	Avaliar o grau de fragmentação do sistema de PCP aplicado pela empresa F	Mapear os fluxos de informação entre setores e a existência de decisões integradas, com foco nos sistemas de planejamento, orçamento e qualidade
	Avaliar o grau de maturidade de práticas de planeamento baseado no LPS no período (Reck, 2010). A avaliação de cada prática é realizada segundo a ponderação: (a) totalmente implementada = 1; (b) parcial implementada = 0,5; (c) não implementada = 0.	Média ponderada das práticas de processo de PCP em percentual
		Média ponderada das práticas de longo prazo em percentual
		Média ponderada das práticas de médio prazo em percentual
		Média ponderada das práticas de curto prazo em percentual
		Média ponderada das práticas de total em percentual no período
Eficiência (capacidade do artefato em executar a ação ao qual foi desenvolvido utilizando menor quantidade recurso)	Aderência da ferramenta de programação ao modelo produtivo	Verificar a capacidade da ferramenta atual de programação (cronograma convencional) representar fluxo, balanceamento e segmentação
	Capacidade do sistema de PCP em evitar atrasos em meses através do controle de curva S	somatório do número de meses em atraso por obra / número de obras
	Capacidade do sistema de PCP em evitar atrasos em lotes de produção através da ferramenta de programação	somatório do número de lotes de produção em atraso por obra / número de obras

Fonte: elaborado pela autora.

3.4.3 Etapa 2: Avaliação da Estruturação da Aprendizagem na Organização (EE2) - Eficiência

Dando continuidade à Etapa 2, a terceira avaliação realizada teve como foco a eficiência do sistema de controle simplificado implantado na empresa F. Após o diagnóstico organizacional, esta etapa avaliativa buscou mensurar em que medida o novo sistema simplificado implementado contribuiu para a redução de atrasos, melhoria nas práticas de PCP e aumento da produtividade das reuniões de planejamento. Segundo o FEDS, essa avaliação situa-se no

quadrante formativo, técnico e naturalista. O posicionamento se justifica por três aspectos centrais:

a) A avaliação ocorreu durante o uso inicial do artefato em ambiente real, ou seja, já havia risco humano envolvido (ex: tomada de decisões com base em dados reais de obra);
b) Ainda assim, tratava-se de uma fase de refinamento e adaptação do sistema, mantendo o caráter formativo da avaliação;
c) O foco esteve na eficiência técnica e operacional do sistema, com indicadores objetivos relacionados a desempenho, processo e resultado.

A implicação desse tipo de avaliação está na sua capacidade de retroalimentar o desenvolvimento do artefato com base no uso prático, promovendo ajustes incrementais e validando sua adequação à realidade organizacional sem exigir sua estabilização completa. Os parâmetros adotados estão descritos no Quadro 25 , conforme sintetizado a seguir:

a) capacidade de reduzir atrasos em meses de obra, verificada pelo controle da curva S; e
b) capacidade de reduzir atrasos em lotes de produção, mensurada nos cronogramas.

Quadro 25 – parâmetros de avaliação de eficiência no EE2

Categoria de avaliação	Descrição da Avaliação	Parâmetro de Avaliação
Eficiência (capacidade do artefato em executar a ação ao qual foi desenvolvido utilizando menor quantidade recurso)	Capacidade do sistema de PCP em evitar atrasos em meses através do controle de curva S	somatório do número de meses em atraso por obra / número de obras
	Capacidade do sistema de PCP em evitar atrasos em lotes de produção através da ferramenta de programação	somatório do número de lotes de produção em atraso por obra / número de obras

Fonte: elaborado pela autora.

3.4.4 Etapa 2 Avaliação da Estruturação da Aprendizagem na Organização (EE2) – Impactos no Ambiente/Usuários

Complementando a avaliação de eficiência do sistema, esta etapa concentrou-se na análise do impacto do sistema de informação implantado no ambiente, ou seja, na organização e nos usuários. Essa dimensão é particularmente relevante em artefatos de uso intensivo por usuários não técnicos, como planilhas estruturadas, dashboards e protocolos de planejamento colaborativo. A avaliação buscou compreender não apenas a operacionalidade do sistema, mas

também sua capacidade de prevenir erros, facilitar o aprendizado e sustentar o engajamento ao longo do tempo. Segundo a FEDS, esta avaliação encontra-se no quadrante formativo, naturalista e com risco humano. Isso porque:

a) A avaliação foi realizada durante o uso efetivo do artefato em contexto real, com impacto direto nas atividades de planejamento das obras;
b) O foco passou a incluir dimensões subjetivas, como percepção dos usuários, aprendizado e engajamento, envolvendo riscos humanos e organizacionais;
c) O artefato ainda estava em fase de refinamento operacional, sendo possível promover ajustes com base no uso observado.

A principal implicação dessa avaliação foi compreender em que medida o sistema de informação simplificado sustentava o uso contínuo pelas equipes, prevenia erros e favorecia o engajamento dos usuários, aspectos diretamente relacionados à viabilidade de sua adoção em escala organizacional. Para issISO/IEC 25010: 2023conduzida com base na ISO/IEC 25010: 2023, que define a característica de interação como central para sistemas que dependem da interação humano-computador. Essa característica é detalhada em subcaracterísticas que orientaram os parâmetros adotados neste trabalho, descritos no Quadro 26 e sintetizados a seguir:

a) Reconhecimento de adequação: grau em que os usuários podem identificar se o sistema atende às suas necessidades, avaliado pela previsibilidade das rotinas e pela relevância das informações para o desempenho das funções;
b) Capacidade de operar o produto: facilidade de operação e controle do sistema, avaliada pela taxa de registros corretos realizados nas planilhas;
c) Proteção contra erros do usuário: capacidade do sistema de prevenir ou reduzir erros de operação, medida pela frequência de erros de registro ao longo das obras;
d) Capacidade de aprender o produto: grau em que os usuários conseguem aprender a utilizar o sistema em tempo razoável, avaliada pela evolução na taxa de registros corretos ao longo do uso;
e) Engajamento do usuário: medida em que a interface e as rotinas motivam a interação contínua, avaliada pela intenção declarada de reuso do sistema em novas obras e pela percepção de engajamento das equipes.

Quadro 26 - parâmetros de avaliação dos impactos no ambiente e usuários

Categoria de avaliação	Descrição da Avaliação	Parâmetro de Avaliação
Impactos no ambiente/usuários (esforço necessário para aprender, compreender e aplicar um artefato ao resolver problemas ou realizar tarefas específicas)	Avaliar o grau de maturidade de práticas de planeamento baseado no LPS no período (Reck, 2010). A avaliação de cada prática é realizada segundo a ponderação: (a) totalmente implementada = 1; (b) parcial implementada = 0,5; (c) não implementada = 0.	Média ponderada das práticas de processo de PCP em percentual
		Média ponderada das práticas de longo prazo em percentual
		Média ponderada das práticas de médio prazo em percentual
		Média ponderada das práticas de curto prazo em percentual
		Média ponderada das práticas de total em percentual no período
	Reconhecimento de adequação - As rotinas aplicadas permitem a previsibilidade e melhoria contínua	Percepção dos usuários quanto a antecipação de problemas (entrevistas)
	Reconhecimento de adequação - Importância da informação para o desempenho da sua função	Percepção dos usuários frente a informações das planilhas (entrevistas)
	Capacidade de operar o produto - O sistema de informação permite o registro de informações corretas nas planilhas desenvolvidas	Taxa de registro de informação correta no sistema de informação por etapa do projeto (dados)
	Proteção contra erros do usuário - O sistema de informação permite o registro de informações corretas nas planilhas desenvolvidas	Taxa de erros no momento do registro da informação no sistema por obra (dados)
	Capacidade de aprender o produto - Os erros dos usuários reduziram ao longo do uso do sistema de informação	Evolução do registro de informação correta dos usuários no sistema de informação por obra (dados)
	Engajamento do usuário - O usuário final continuaria utilizando o sistema de informação na sua obra	Percepção dos usuários quanto a continuar utilizando o sistema (entrevistas)
	Engajamento do usuário - O usuário final implantaria o sistema de informação em uma nova obra sua	Percepção dos usuários quanto a utilizando o sistema em uma nova obra (entrevistas)
	Engajamento do usuário - Grau de engajamento do usuário final	Percepção do engajamento e participação de setores e colaboradores no PCP (entrevistas)

Fonte: elaborado pela autora.

3.4.5 Etapa 3: Avaliação da Contextualização da Aprendizagem nos Projetos (EE2)

Encerrando o ciclo de avaliações, esta etapa teve como objetivo verificar a completude dos constructos conceituais a partir da base de dados estruturada no EE2, com foco na capacidade do modelo semântico de representar informações contextuais de forma estruturada, escalável e interpretável entre planos e entre obras. No modelo da FEDS, esta avaliação está situada no quadrante somativo, técnico e naturalista. A justificativa para esse posicionamento é baseada em três critérios:

a) O artefato já se encontrava estabilizado, com sua estrutura relacional e consultas desenvolvidas e testadas;
b) A avaliação foi conduzida a partir de dados reais gerados no uso do sistema em múltiplas obras, o que caracteriza um ambiente naturalista;
c) O foco esteve na avaliação da capacidade de representação do modelo, em termos de granularidade e vinculação semântica.

Esse tipo de avaliação fornece evidências sobre a capacidade do artefato em representar semanticamente os dados do controle da produção, bem como sobre sua aplicabilidade como modelo de estruturação de informações em diferentes contextos de planejamento e controle. Esses critérios estão detalhados na Quadro 27 e a avaliação foi estruturada em duas dimensões principais:

a) Capacidade do modelo em representar metas de produção em diferentes níveis de detalhamento sem perda de significado;
b) Capacidade de contextualização semântica dos dados, avaliada por meio de consultas que combinem facetas e status.

Quadro 27 – parâmetros de avaliação da completude no EE2

Categoria de avaliação	Resultado da DSR	Descrição da Avaliação	Parâmetro de Avaliação
Completude: (capacidade dos constructos de fornecer uma representação abrangente e suficiente para incluir todos os elementos necessários no contexto de aplicação)	Estruturação da hierarquia da unidade de controle de maneira flexível e padronizada	Capacidade do modelo proposto em representar metas de produção nos diferentes níveis sem perda de informações.	Taxa de detalhamento ou agrupamento das unidades de controle faceta de processo
	Contextualização semântica para o apoio à tomada de decisão	Capacidade da estrutura de dados em ERD de viabilizar consultas por vínculos contextualizados.	taxa de contextualização semântica = total de vínculos contextuais existentes / número total de pacotes de trabalho cadastrados

Fonte: elaborado pela autora.

4 FORMALIZAÇÃO DA APRENDIZAGEM

4.1 SISTEMA DE LAST PLANNER DA EMPRESA

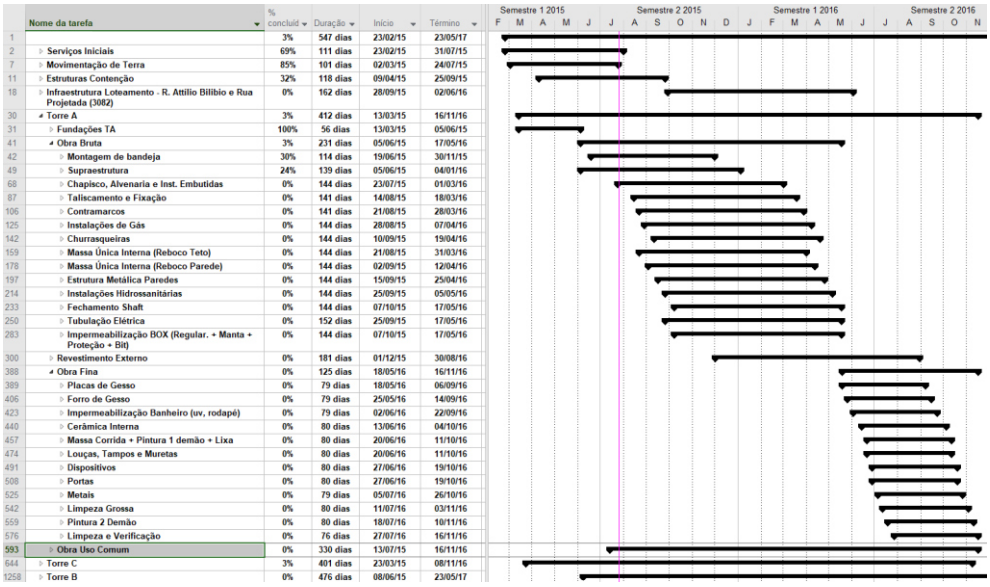
Esta seção tem como objetivo de apresentar um diagnóstico da linguagem e o vocabulário utilizados durante o uso das ferramentas de planejamento e controle empregadas nos projetos da empresa, bem como a estrutura hierárquica das unidades de controle e a forma de registro dos dos pacotes de trabalho. Este diagnóstico descreve o estado de referência anterior à intervenção do estudo de caso, o qual será apresentado na seção seguinte.

4.1.1 Linguagem e Vocabulário

4.1.1.1 Obra E17

O setor de planejamento adotava um vocabulário relativamente padronizado, ajustado às diferentes tipologias de empreendimentos. A Figura 13 exemplifica esse vocabulário no plano de longo prazo da obra E17, modelado no MS Project. As definições eram compartilhadas entre produção e planejamento para representar os processos da tipologia E17.

Figura 13 - plano de longo prazo a obra E17



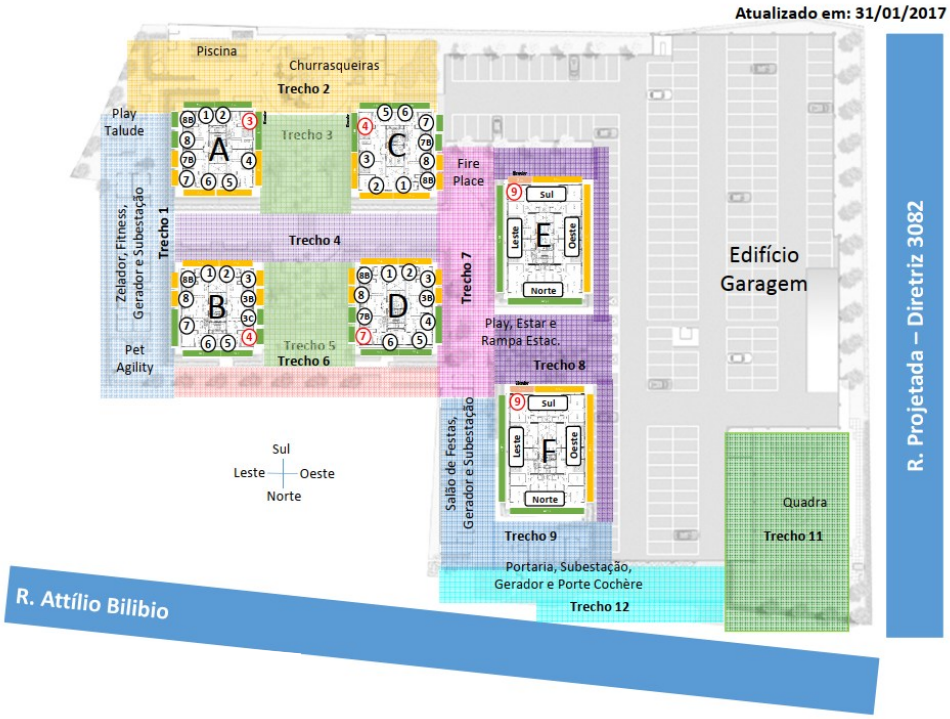
	Nome da tarefa	% concluíd	Duração	Início	Término
1		3%	547 dias	23/02/15	23/05/17
2	Serviços Iniciais	69%	111 dias	23/02/15	31/07/15
7	Movimentação de Terra	85%	101 dias	02/03/15	24/07/15
11	Estruturas Contenção	32%	118 dias	09/04/15	25/09/15
18	Infraestrutura Loteamento - R. Attilio Bilibio e Rua Projetada (3082)	0%	162 dias	28/09/15	02/06/16
30	Torre A	3%	412 dias	13/03/15	16/11/16
31	Fundações TA	100%	56 dias	13/03/15	05/06/15
41	Obra Bruta	3%	231 dias	05/06/15	17/05/16
42	Montagem de bandeja	30%	114 dias	19/06/15	30/11/15
49	Supraestrutura	24%	139 dias	05/06/15	04/01/16
68	Chapisco, Alvenaria e Inst. Embutidas	0%	144 dias	23/07/15	01/03/16
87	Taliscamento e Fixação	0%	141 dias	14/08/15	18/03/16
106	Contramarcos	0%	141 dias	21/08/15	28/03/16
125	Instalações de Gás	0%	144 dias	28/08/15	07/04/16
142	Churrasqueiras	0%	144 dias	10/09/15	19/04/16
159	Massa Única Interna (Reboco Teto)	0%	144 dias	21/08/15	31/03/16
178	Massa Única Interna (Reboco Parede)	0%	144 dias	02/09/15	12/04/16
197	Estrutura Metálica Paredes	0%	144 dias	15/09/15	25/04/16
214	Instalações Hidrossanitárias	0%	144 dias	25/09/15	05/05/16
233	Fechamento Shaft	0%	144 dias	07/10/15	17/05/16
250	Tubulação Elétrica	0%	152 dias	25/09/15	17/05/16
283	Impermeabilização BOX (Regular. + Manta + Proteção + Bit)	0%	144 dias	07/10/15	17/05/16
300	Revestimento Externo	0%	181 dias	01/12/15	30/08/16
388	Obra Fina	0%	125 dias	18/05/16	16/11/16
389	Placas de Gesso	0%	79 dias	18/05/16	06/09/16
406	Forro de Gesso	0%	79 dias	25/05/16	14/09/16
423	Impermeabilização Banheiro (uv, rodapé)	0%	79 dias	02/06/16	22/09/16
440	Cerâmica Interna	0%	80 dias	13/06/16	04/10/16
457	Massa Corrida + Pintura 1 demão + Lixa	0%	80 dias	20/06/16	11/10/16
474	Louças, Tampos e Muretas	0%	80 dias	20/06/16	11/10/16
491	Dispositivos	0%	80 dias	27/06/16	19/10/16
508	Portas	0%	80 dias	27/06/16	19/10/16
525	Metais	0%	79 dias	05/07/16	26/10/16
542	Limpeza Grossa	0%	80 dias	11/07/16	03/11/16
559	Pintura 2 Demão	0%	80 dias	18/07/16	10/11/16
576	Limpeza e Verificação	0%	76 dias	27/07/16	16/11/16
593	Obra Uso Comum	0%	330 dias	13/07/15	16/11/16
644	Torre C	3%	401 dias	23/03/15	08/11/16
1258	Torre B	0%	476 dias	08/06/15	23/05/17

Fonte: elaborado pela empresa.

Os processos eram agrupados nas seguintes categorias: fundações; obra bruta, da superestrutura à impermeabilização de banheiros; revestimento externo, com foco na fachada; obra fina, da instalação de gesso à limpeza final; e obra de uso comum, com acabamento e infraestrutura das áreas de circulação e instalações prediais.

A Figura 14 mostra a divisão da obra em zonas, organizadas para orientar o planejamento e controle nos horizontes de longo, médio e curto prazo. O empreendimento inclui seis torres (A a F), um edifício garagem e zonas de infraestrutura, denominadas Trechos 1 a 11. Cada trecho abrange áreas comuns, como piscina e churrasqueira no Trecho 2. A estrutura espacial segue uma hierarquia clara: da obra geral aos trechos, torres e equipamentos de fachada (balancins e cremalheiras). A padronização visual por cores facilita a comunicação entre planejamento, produção e fornecedores. A diversidade de tipologias exige estratégias específicas por zona, que também serve como base para o registro e monitoramento físico das unidades de controle.

Figura 14 – plano de ataque da Obra E17

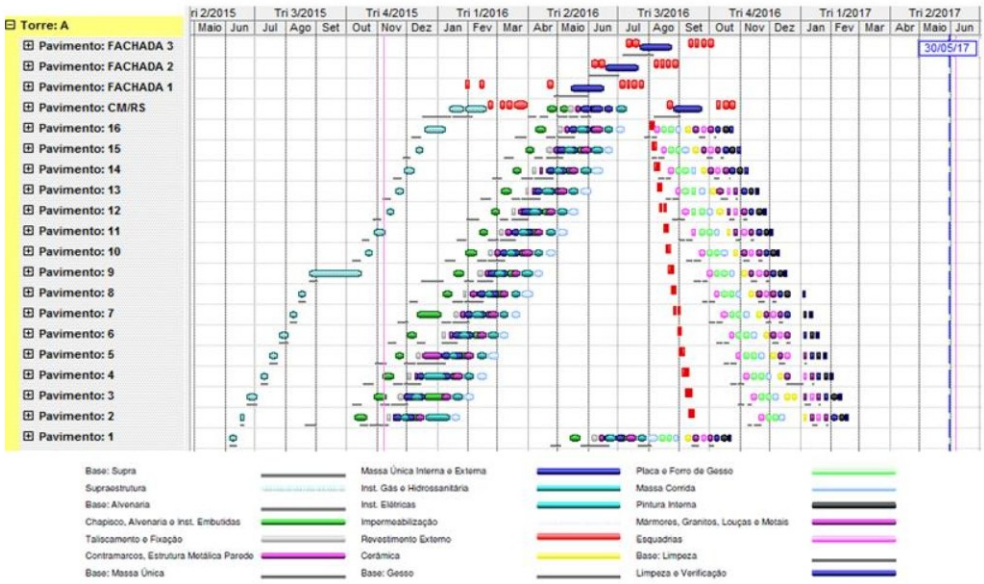


Fonte: elaborado pela empresa.

A Figura 15 mostra o fluxo de processos de uma torre, organizado por pavimento e grupos de atividades na linha de balanço construída no MS Project. A obra bruta segue um fluxo ascendente (do 1º ao 16º pavimento), enquanto a obra fina é descendente (do 16º ao 1º). As

fachadas são tratadas separadamente, agrupadas por balancins ou plataformas cremalheiras, nomeadas como Fachada 1 a 3. Tanto na Figura 13 como Figura 15, destaca-se a linha rosa indicando a data de atualização do cronograma, e, na Figura 15, a previsão de entrega em 30/05/2017. Ressalta-se que essa data não correspondia necessariamente ao dia em que a atualização era realizada, mas sim a um marco de referência semanal. Quando o cronograma era atualizado na sexta-feira, adotava-se o domingo subsequente como data de atualização. Nas situações em que a revisão ocorria entre segunda e quinta-feira, sem confirmação das conclusões dos serviços da semana em curso, utilizava-se o domingo anterior como marco de referência. A linha de balanço evidencia o ritmo sequencial dos pavimentos, reforçando a padronização dos processos verticais. A separação entre obra bruta, obra fina e fachadas permite identificar interfaces críticas. O uso de cores distintas facilita a leitura do cronograma e o acompanhamento físico por pavimento e fachada. A ferramenta adota a linguagem de locais e processos, possibilitando programações visuais e decisões de replanejamento.

Figura 15 – visualização da linha de balanço na obra E17

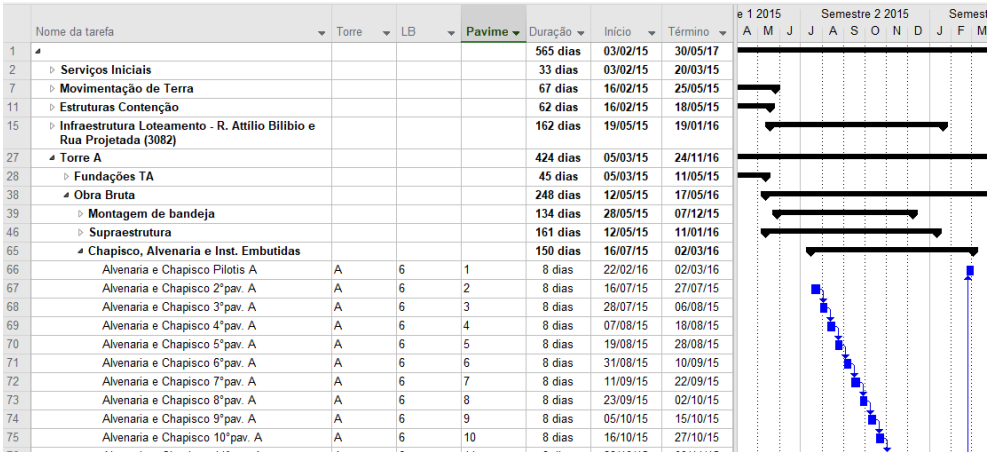


Fonte: elaborado pela empresa e publicado em Rosa (2016).

Para efetivar a visualização da linha de balanço da Figura 15, foi necessário parametrizadas cada item do MS Project com três campos, conforme apresentado na Figura 16. O campo Torre identifica as torres ou trecho de infraestrutura apresentadas na Figura 14, Pavimento indica o nível ou grupo de fachada do item e LB (abreviação para Linha de Balanço) indica o processo.

Essa estrutura viabilizou a geração da linha de balanço diretamente no cronograma, permitindo visualizar o sequenciamento dos pacotes de trabalho e o ritmo planejado de execução.

Figura 16 – parametrização do plano de longo prazo para linha de balanço

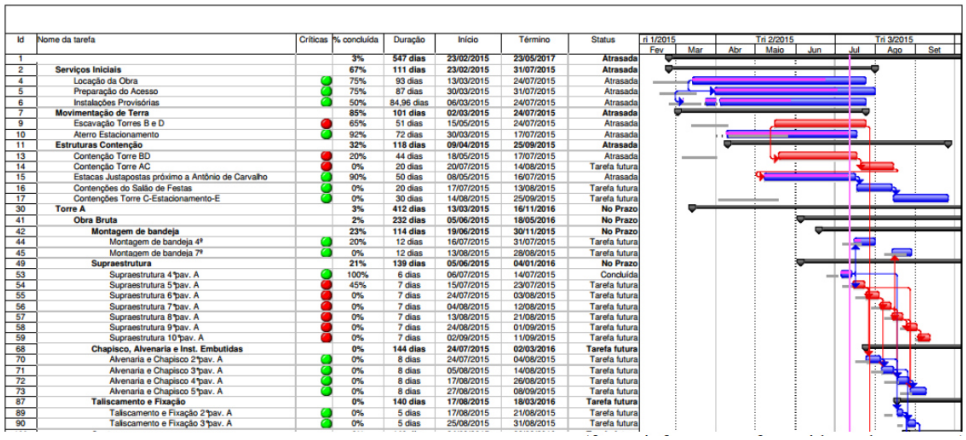


	Nome da tarefa	Torre	LB	Pavime	Duração	Início	Término
1					565 dias	03/02/15	30/05/17
2	Serviços Iniciais				33 dias	03/02/15	20/03/15
7	Movimentação de Terra				67 dias	16/02/15	25/05/15
11	Estruturas Contenção				62 dias	16/02/15	18/05/15
15	Infraestrutura Loteamento - R. Attílio Bilibio e Rua Projetada (3082)				162 dias	19/05/15	19/01/16
27	Torre A				424 dias	05/03/15	24/11/16
28	Fundações TA				45 dias	05/03/15	11/05/15
38	Obra Bruta				248 dias	12/05/15	17/05/16
39	Montagem de bandeja				134 dias	28/05/15	07/12/15
46	Supraestrutura				161 dias	12/05/15	11/01/16
65	Chapisco, Alvenaria e Inst. Embutidas				150 dias	16/07/15	02/03/16
66	Alvenaria e Chapisco Pilotis A	A	6	1	8 dias	22/02/16	02/03/16
67	Alvenaria e Chapisco 2°pav. A	A	6	2	8 dias	16/07/15	27/07/15
68	Alvenaria e Chapisco 3°pav. A	A	6	3	8 dias	28/07/15	06/08/15
69	Alvenaria e Chapisco 4°pav. A	A	6	4	8 dias	07/08/15	18/08/15
70	Alvenaria e Chapisco 5°pav. A	A	6	5	8 dias	19/08/15	28/08/15
71	Alvenaria e Chapisco 6°pav. A	A	6	6	8 dias	31/08/15	10/09/15
72	Alvenaria e Chapisco 7°pav. A	A	6	7	8 dias	11/09/15	22/09/15
73	Alvenaria e Chapisco 8°pav. A	A	6	8	8 dias	23/09/15	02/10/15
74	Alvenaria e Chapisco 9°pav. A	A	6	9	8 dias	05/10/15	15/10/15
75	Alvenaria e Chapisco 10°pav. A	A	6	10	8 dias	16/10/15	27/10/15

Fonte: elaborado pela empresa.

O planejamento de médio prazo também era realizado no MS Project, com visualização filtrada dos pacotes de trabalho (Figura 17) e restrições (Figura 18). O filtro cobria 57 dias (8 semanas) após a data de atualização, focando nas tarefas em andamento e previstas. Na Figura 17, os pacotes aparecem no diagrama de Gantt, classificados por criticidade: vermelho para caminho crítico e azul para pacotes normais, com reforço visual por círculos coloridos. O status de cada pacote é descrito como "Atrasada", "Tarefa no prazo" ou "Tarefa futura", permitindo uma análise da aderência ao cronograma. A distinção dos pacotes críticos e seus status era essencial para priorização das atividades na programação de médio prazo.

Figura 17 – visualização médio prazo com o cronograma atualizado na obra E17



Id	Nome da tarefa	Críticas	% concluída	Duração	Início	Término	Status
1			3%	547 dias	23/02/2015	23/05/2017	Atrasada
2	Serviços Iniciais		67%	111 dias	23/02/2015	31/07/2015	Atrasada
4	Locação da Obra		75%	93 dias	13/03/2015	24/07/2015	Atrasada
5	Preparação do Acesso		75%	87 dias	30/03/2015	31/07/2015	Atrasada
6	Instalações Provisórias		50%	84,96 dias	06/03/2015	24/07/2015	Atrasada
7	Movimentação de Terra		85%	101 dias	02/03/2015	24/07/2015	Atrasada
9	Escavação Torres B e D		65%	51 dias	15/05/2015	24/07/2015	Atrasada
10	Aterro Estacionamento		92%	72 dias	30/03/2015	17/07/2015	Atrasada
11	Estruturas Contenção		32%	118 dias	09/04/2015	25/09/2015	Atrasada
13	Contenção Torre BD		20%	44 dias	18/05/2015	17/07/2015	Atrasada
14	Contenção Torre AC		0%	20 dias	20/07/2015	14/08/2015	Tarefa futura
15	Estacas Justapostas próximo a Antônio de Carvalho		90%	50 dias	08/05/2015	16/07/2015	Atrasada
16	Contenções do Salão de Festas		0%	20 dias	17/07/2015	13/08/2015	Tarefa futura
17	Contenções Torre C-Estacionamento-E		0%	30 dias	14/08/2015	25/09/2015	Tarefa futura
30	Torre A		3%	412 dias	13/03/2015	16/11/2016	No Prazo
41	Obra Bruta		2%	232 dias	05/06/2015	18/05/2016	No Prazo
42	Montagem de bandeja		23%	114 dias	19/06/2015	30/11/2015	No Prazo
44	Montagem de bandeja 4º		20%	12 dias	16/07/2015	31/07/2015	Tarefa futura
45	Montagem de bandeja 7º		0%	12 dias	13/08/2015	28/08/2015	Tarefa futura
49	Supraestrutura		21%	139 dias	05/06/2015	04/01/2016	No Prazo
53	Supraestrutura 4°pav. A		100%	6 dias	06/07/2015	14/07/2015	Concluída
54	Supraestrutura 5°pav. A		45%	7 dias	15/07/2015	23/07/2015	Tarefa futura
55	Supraestrutura 6°pav. A		0%	7 dias	24/07/2015	03/08/2015	Tarefa futura
56	Supraestrutura 7°pav. A		0%	7 dias	04/08/2015	12/08/2015	Tarefa futura
57	Supraestrutura 8°pav. A		0%	7 dias	13/08/2015	21/08/2015	Tarefa futura
58	Supraestrutura 9°pav. A		0%	7 dias	24/08/2015	01/09/2015	Tarefa futura
59	Supraestrutura 10°pav. A		0%	7 dias	02/09/2015	11/09/2015	Tarefa futura
68	Chapisco, Alvenaria e Inst. Embutidas		0%	144 dias	24/07/2015	02/03/2016	Tarefa futura
70	Alvenaria e Chapisco 2°pav. A		0%	8 dias	24/07/2015	04/08/2015	Tarefa futura
71	Alvenaria e Chapisco 3°pav. A		0%	8 dias	05/08/2015	14/08/2015	Tarefa futura
72	Alvenaria e Chapisco 4°pav. A		0%	8 dias	17/08/2015	26/08/2015	Tarefa futura
73	Alvenaria e Chapisco 5°pav. A		0%	8 dias	27/08/2015	08/09/2015	Tarefa futura
87	Taliscamento e Fixação		0%	140 dias	17/08/2015	18/03/2016	Tarefa futura
89	Taliscamento e Fixação 2°pav. A		0%	5 dias	17/08/2015	21/08/2015	Tarefa futura
90	Taliscamento e Fixação 3°pav. A		0%	5 dias	25/08/2015	31/08/2015	Tarefa futura

Fonte: elaborado pela empresa e publicado em Rosa (2016).

A Figura 18 detalha a lista de restrições, com campos para a descrição da ação necessária, data limite, responsável e status (pendente, atrasada ou resolvida). Cada restrição estava vinculada a um único pacote de trabalho, reforçando as relações entre as entidades do LPS e evidenciando sua cardinalidade. A relação implementada entre Pacote de Trabalho e Restrição era do tipo um-para-muitos — ou seja, um pacote de trabalho podia estar associado a várias restrições, enquanto cada restrição estava registrada em apenas um pacote. Na prática, admitia-se o vínculo de até cinco restrições por pacote. Entretanto, quando uma mesma restrição impactava múltiplos pacotes, o sistema não permitia o registro compartilhado, impedindo a representação da cardinalidade ideal do tipo muitos-para-muitos e, consequentemente, limitando a rastreabilidade entre as entidades. A padronização dos status, aliada à identificação dos responsáveis, possibilitava monitorar e liberar frentes de trabalho de forma sistemática. Essa organização favorecia uma gestão proativa do fluxo de produção, permitindo antecipar potenciais atrasos decorrentes de restrições não resolvidas. A integração entre programação, pacotes e restrições reforçava a linguagem compartilhada entre produção e planejamento no médio prazo, apoiando o controle da produção.

Figura 18 – visualização lista de restrições no MS Project na obra E17

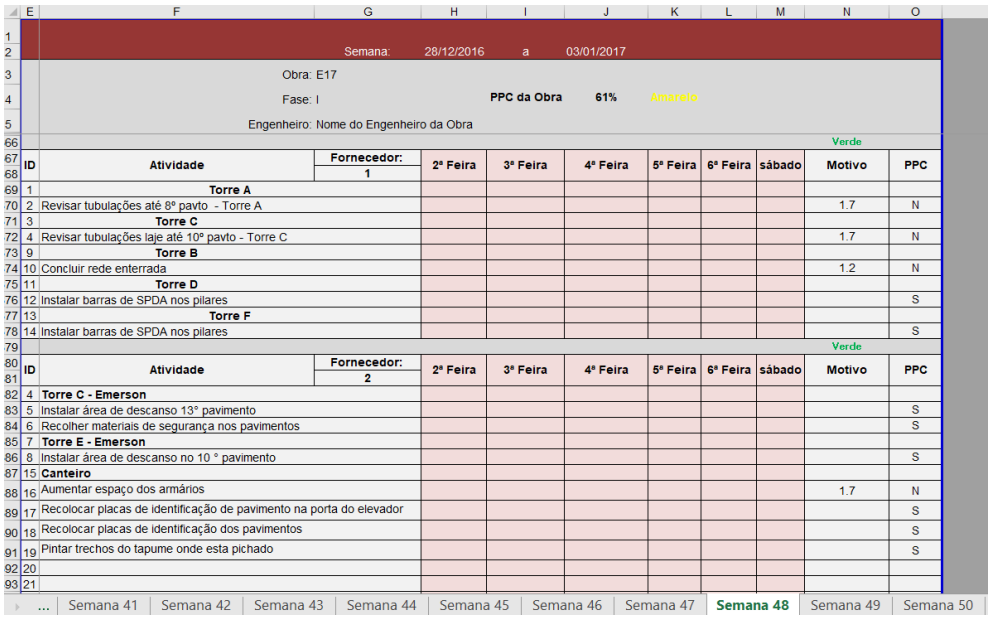
	Nome da tarefa	% oncluíd	Duração	Início	Término	Restrição 1	Data1	Responsável 1	Status 1
1	**Obra**	**6%**	**557 dias**	**23/02/2015**	**06/06/2017**		**ND**		
11	**Estruturas Contenção**	**32%**	**196 dias**	**09/04/2015**	**29/01/2016**	**Definição dos projetos contenções**	**30/10/2015**	**Assistente / Eng.**	**Pendente**
18	**Infraestrutura Loteamento - R. Attílio Bilibio e Rua Projetada (3082)**	**0%**	**162 dias**	**01/02/2016**	**22/09/2016**		**ND**		
19	Corte e Aterro	0%	25 dias	01/02/2016	08/03/2016	Definir contratação dos serviços	20/11/2015	Diretor / Eng.	Pendente
20	Instalação de Esgoto Pluvial e Cloacal	0%	30 dias	17/02/2016	30/03/2016	Definir contratação dos serviços	20/11/2015	Diretor / Eng.	Pendente
30	**Torre A**	**6%**	**469 dias**	**13/03/2015**	**16/02/2017**		**ND**		
41	**Obra Bruta**	**8%**	**290 dias**	**05/06/2015**	**09/08/2016**		**ND**		
74	**Chapisco, Alvenaria e Inst. Embutidas**	**10%**	**146 dias**	**09/10/2015**	**23/05/2016**	**Pedir escantilhão**	**09/10/2015**	**Eng.**	**Pendente**
131	**Instalações de Gás**	**0%**	**142 dias**	**23/11/2015**	**28/06/2016**	**Orçar MO e material**	**09/10/2015**	**Eng.**	**Pendente**
165	**Massa Única Interna (Reboco Teto)**	**0%**	**145 dias**	**16/11/2015**	**24/06/2016**	**Pedir cavaletes e madeiras**	**16/10/2015**	**Eng.**	**Pendente**
167	Massa Única Interna 2°pav. A	0%	8 dias	16/11/2015	25/11/2015	Orçar MO e contratar	16/10/2015	Eng.	Pendente
184	**Massa Única Interna (Reboco Parede)**	**0%**	**145 dias**	**26/11/2015**	**06/07/2016**	**Pedir gabaritos marco**	**16/10/2015**	**Eng.**	**Pendente**
203	**Estrutura Metálica Paredes**	**0%**	**145 dias**	**08/12/2015**	**18/07/2016**	**Solicitar dutos das coifas (pedido global)**	**30/11/2015**	**Eng.**	**Pendente**
599	**Obra Uso Comum**	**0%**	**305 dias**	**09/11/2015**	**16/02/2017**		**ND**		
600	**Elevadores e Escada Pressurizada Torre A**	**0%**	**260 dias**	**09/11/2015**	**02/12/2016**		**ND**		
601	Compra elevadores	0%	180 dias	09/11/2015	05/08/2016	Confirmar compra com Paiva	30/10/2015	Eng.	Pendente
610	**Instalação de Incêndio Torre A**	**0%**	**39 dias**	**29/11/2016**	**03/02/2017**	**Solicitar marcos das portas-corta fogo**	**16/10/2015**	**Eng.**	**Pendente**
650	**Torre C**	**6%**	**463 dias**	**23/03/2015**	**16/02/2017**		**ND**		
661	**Obra Bruta**	**8%**	**295 dias**	**27/05/2015**	**08/08/2016**		**ND**		
675	**Supraestrutura**	**63%**	**175 dias**	**27/05/2015**	**17/02/2016**	**Orçar gabarito de Gas e hidro**	**29/05/2015**	**Eng.**	**Resolvido**

Fonte: elaborado pela empresa e publicado em Rosa (2016).

A Figura 19 apresenta a planilha padrão de curto prazo utilizada na obra E17. Os pacotes de trabalho são listados nas colunas F e G, segmentados por fornecedor (ex.: linhas 67 a 78). A planilha inclui campos para o número de funcionários por dia (colunas H a M), motivos codificados de não cumprimento ("Motivo") e status de conclusão ("PPC", com "S" ou "N"). Embora o campo de funcionários fosse pouco utilizado pelas obras, a organização o mantinha

como padrão. A descrição dos pacotes seguia um formato relativamente estruturado, incluindo processo, elemento e local (ex.: "Revisar tubulações 8º pavimento – Torre A"). No topo da planilha, o PPC semanal agregava os resultados e indicava o desempenho com cores: vermelho (<60%), amarelo (60–75%) e verde (>75%). Cada semana era registrada em uma aba separada, permitindo o acompanhamento individualidade e semanal. As relações entre as entidades desse nível apresentavam cardinalidade muitos-para-muitos, ou seja, cada pacote de trabalho podia estar associado a múltiplos motivos de não cumprimento e, simultaneamente, a diferentes fornecedores, enquanto um mesmo motivo ou fornecedor podia impactar diversos pacotes. Assim, a ferramenta reforçava uma linguagem própria da equipe de gestão da obra e o registro das unidades de controle.

Figura 19 – programação semanal obra E17



Semana: 28/12/2016 a 03/01/2017

Obra: E17

Fase: I — PPC da Obra 61% Amarelo

Engenheiro: Nome do Engenheiro da Obra

Verde

ID	Atividade	Fornecedor: 1	2ª Feira	3ª Feira	4ª Feira	5ª Feira	6ª Feira	sábado	Motivo	PPC
1	**Torre A**									
2	Revisar tubulações até 8º pavto - Torre A								1.7	N
3	**Torre C**									
4	Revisar tubulações laje até 10º pavto - Torre C								1.7	N
9	**Torre B**									
10	Concluir rede enterrada								1.2	N
11	**Torre D**									
12	Instalar barras de SPDA nos pilares									S
13	**Torre F**									
14	Instalar barras de SPDA nos pilares									S

Verde

ID	Atividade	Fornecedor: 2	2ª Feira	3ª Feira	4ª Feira	5ª Feira	6ª Feira	sábado	Motivo	PPC
4	**Torre C - Emerson**									
5	Instalar área de descanso 13° pavimento									S
6	Recolher materiais de segurança nos pavimentos									S
7	**Torre E - Emerson**									
8	Instalar área de descanso no 10 ° pavimento									S
15	**Canteiro**									
16	Aumentar espaço dos armários								1.7	N
17	Recolocar placas de identificação de pavimento na porta do elevador									S
18	Recolocar placas de identificação dos pavimentos									S
19	Pintar trechos do tapume onde esta pichado									S
20										
21										

Fonte: elaborado por empresa.

A análise das ferramentas de PCP na obra E17 revela limitações na padronização da linguagem e na consistência do vocabulário entre os níveis de planejamento. Embora a programação de curto prazo (Figura 19) registre a localização das atividades, falta um campo estruturado que conecte essas informações às zonas ou trechos definidos (Figura 14). Apesar da existência de pacotes organizados no longo (Figura 13) e médio prazo (Figura 17), a programação semanal carece de vínculos explícitos entre os horizontes. As atividades de curto prazo são descritas livremente, sem códigos que as associem aos pacotes definidos nos cronogramas superiores.

Além disso, há uma diferença expressiva de granularidade: enquanto os planos de longo e médio prazo utilizam pacotes agregados, o curto prazo trabalha com unidades mais fragmentadas. Isso dificulta a consolidação pelas facetas de processo ou local, o rastreamento do avanço físico, a identificação de gargalos, a análise de desvios e a integração de indicadores entre os níveis. A falta de integração também prejudica a retroalimentação do planejamento, dificultando a antecipação de restrições a partir dos motivos de não cumprimento registrados no curto prazo. Como consequência, há maior dependência de comunicações informais para coordenar atividades concorrentes e evitar conflitos. Assim, a ausência de integração entre os planos e a estrutura física limita a gestão sistêmica da produção e compromete o alinhamento entre o planejamento estratégico, tático e operacional.

4.1.1.2 Obra E22

O setor de planejamento adotava um vocabulário estruturado com base no agrupamento espacial e nas etapas internas de execução, considerando as particularidades do empreendimento da obra E22. A Figura 20 ilustra essa organização, aplicada ao plano de longo prazo no MS Project. Os processos produtivos foram agrupados em: implantação da obra, referente serviços iniciais e de instalação de estrutura provisórias no canteiro; obra bruta do condomínio, referente a infraestrutura do condomínio, como terraplanagem, redes de água, esgoto e energia elétrica; unidades habitacionais, com detalhamento de etapas internas e externas; e áreas de lazer, como estrutura de uso comum, como salão de festas, campo de futebol, entre outros. O cronograma foi segmentado por fases de entrega — 24 casas na Fase 1 e 82 na Fase 2 — permitindo o controle do avanço físico por grupo de unidades e áreas de infraestrutura.

Figura 20 – plano de longo prazo da obra E22

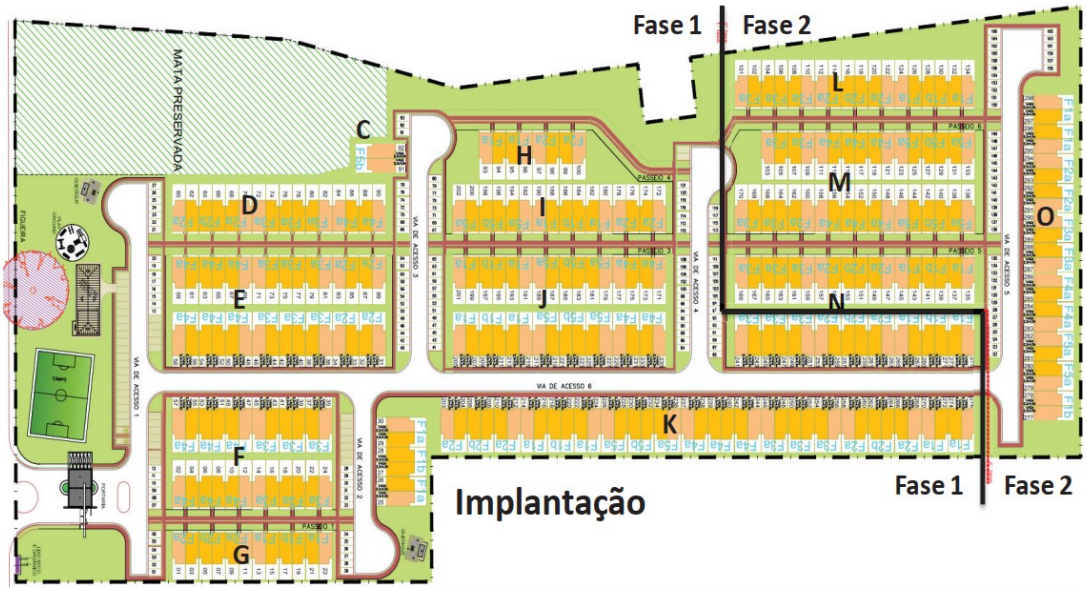


	Nome da tarefa	% concluída	Duração	Início	Término
1	FASE 1 206 casas	100%	400 dias	01/11/12	05/06/14
2	Implantação da Obra	100%	2 dias	01/11/12	05/11/12
7	Obra Bruta Condomínio	100%	276 dias	01/01/13	03/02/14
40	Casas	100%	300 dias	15/03/13	23/05/14
41	Radier ok	100%	157 dias	15/03/13	25/10/13
465	Paredes	100%	129 dias	20/05/13	19/11/13
683	Cobertura	100%	121 dias	18/06/13	05/12/13
1004	Instalação Elétrica	100%	144 dias	19/07/13	11/02/14
1222	Forro Gesso Acartonado	100%	115 dias	30/07/13	11/01/14
1337	Cerâmica Interna	100%	113 dias	05/08/13	14/01/14
1658	Pintura Interna 1 (texturas forro e golas)	100%	99 dias	26/08/13	15/01/14
1876	Esq. Aluminio	100%	102 dias	30/09/13	21/02/14
1991	Pintura Interna 2 (selador, massa corrida e 1°demão PVA)	100%	101 dias	23/08/13	16/01/14
2209	Louças e Metais	100%	109 dias	11/11/13	16/04/14
2427	Portas Madeira	100%	80 dias	02/12/13	26/03/14
2542	Pintura Externa	100%	96 dias	02/09/13	17/01/14
2760	Jardim	100%	148 dias	26/08/13	26/03/14
2875	Limpeza Grossa	100%	80 dias	18/11/13	12/03/14
2990	Pintura Interna 3 (2°demão PVA, esmalte portas)	100%	125 dias	22/11/13	23/05/14
3208	Limpeza Fina	100%	9 dias	01/03/14	15/03/14
3323	Área de Lazer	100%	260 dias	27/05/13	05/06/14
3324	Salão de Festas	100%	256 dias	03/06/13	05/06/14
3340	Portaria	100%	196 dias	05/08/13	15/05/14
3355	Campo	100%	72 dias	16/10/13	28/01/14
3361	Quiosques	100%	190 dias	27/05/13	21/02/14
3363	Playground	100%	23 dias	08/01/14	07/02/14
3366	FASE 2 82 casas	100%	347,88 dias	11/02/13	30/06/14
3367	Implantação da Obra	100%	70 dias	25/03/13	03/07/13
3372	Obra Bruta Condomínio	100%	241 dias	11/02/13	23/01/14
3373	Terraplenagem	100%	0 dias	03/05/13	03/05/13
3376	Pavimentação	100%	179 dias	13/05/13	23/01/14
3383	Drenagem Pluvial	100%	170 dias	11/02/13	11/10/13
3387	Água e Esgoto Sanitário	100%	137,59 dias	11/02/13	27/08/13
3392	Energia Elétrica	100%	127 dias	08/07/13	06/01/14
3394	Casas	100%	285,88 dias	13/05/13	30/06/14

Fonte: elaborado por empresa.

A Figura 21 apresenta a divisão da obra em zonas, utilizadas para estruturar o planejamento e controle nos horizontes de longo, médio e curto prazo. As unidades habitacionais estão organizadas em trechos, que correspondem a grupos de casas por quarteirão, identificados de C a O. O empreendimento também inclui áreas comuns voltadas à infraestrutura de lazer, esportes e circulação. A divisão em fases é explicitada no layout, detalhando as quadras que compõem cada fase de entrega. Cada trecho alfabético serve como referência espacial para o sequenciamento das atividades, organização logística e controle do avanço físico.

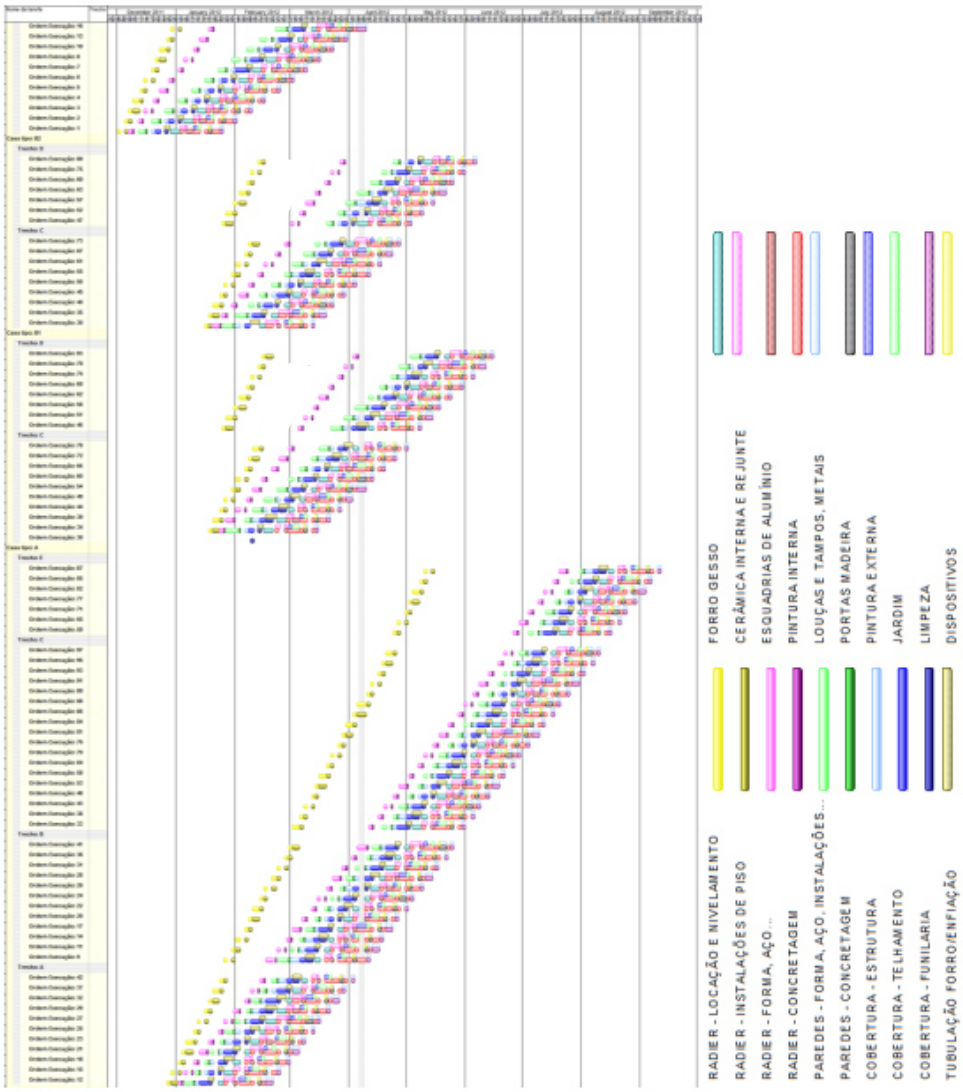
Figura 21 – plano de ataque na Oba E22



Fonte: elaborado pela empresa.

A Figura 22 apresenta a linha de balanço da obra E22, metodologia introduzida por Biotto (2012) e mantida em obras posteriores. Para empreendimentos com casas, como a E22, a linha é organizada por duplas de casas e agrupada por quarteirões, adotando um fluxo sequencial ascendente. O sequenciamento dos quarteirões ao longo do tempo estrutura o plano de ataque da obra. Os processos são representados por cores distintas, conforme legenda, abrangendo fundação, estrutura, instalações, revestimentos e acabamento. Essa padronização visual facilita o monitoramento dos processos e o planejamento das frentes de trabalho. Diferente da E17, o cronograma da E22 não incorporava ainda a linha rosa de marco de atualização e data de previsão de entrega da obra, refletindo um padrão visual mais antigo, sem controle sistemático de status semanal.

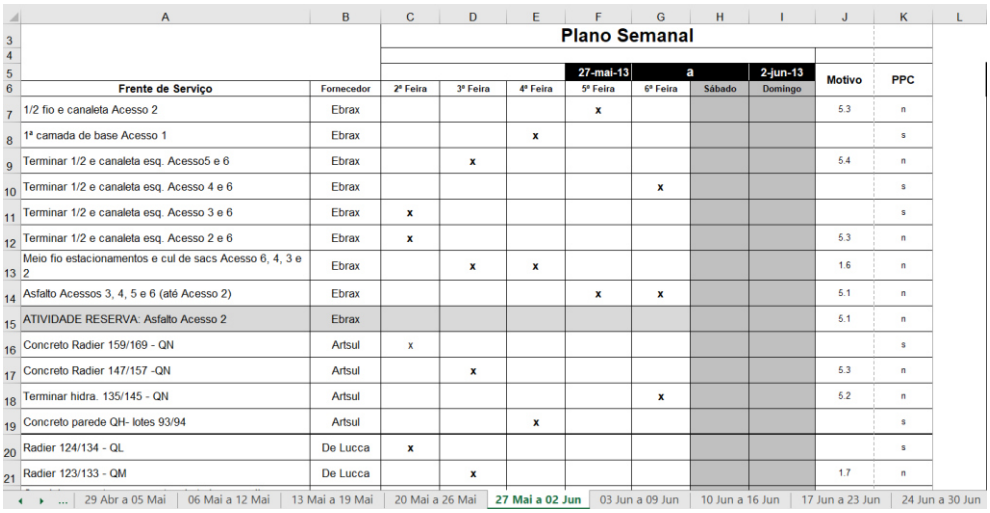
Figura 22 – linha de balanço na Obra E22



Fonte: elaborado por Biotto (2012).

Por ser uma obra mais antiga que a E17, a E22 não teve a rotina de programação de médio prazo. A Figura 23 mostra sua programação de curto prazo, registrada em planilha com as frentes de serviço nas colunas B e C, vinculadas aos fornecedores. O planejamento semanal era feito com marcação de "x" nos dias previstos (segunda a domingo). Cada frente inclui o motivo de não cumprimento (coluna "Motivo") e o status de execução ("PPC"), com "S" (sim) ou "N" (não). Diferente da E17, não havia registro do número de funcionários nem consolidação do PPC semanal. A estrutura era mais simples, focada nas frentes de serviço e no controle do plano semanal. A descrição indicava a atividade e seu local (ex.: “1/2 fio e canaleta Acesso 2”). Cada semana era registrada em uma aba distinta, viabilizando o acompanhamento sequencial do planejamento.

Figura 23 – programação semanal obra E22



Plano Semanal

Frente de Serviço	Fornecedor	2ª Feira	3ª Feira	4ª Feira	27-mai-13 5ª Feira	a 6ª Feira	Sábado	2-jun-13 Domingo	Motivo	PPC
1/2 fio e canaleta Acesso 2	Ebrax				x				5.3	n
1ª camada de base Acesso 1	Ebrax			x						s
Terminar 1/2 e canaleta esq. Acesso5 e 6	Ebrax		x						5.4	n
Terminar 1/2 e canaleta esq. Acesso 4 e 6	Ebrax					x				s
Terminar 1/2 e canaleta esq. Acesso 3 e 6	Ebrax	x								s
Terminar 1/2 e canaleta esq. Acesso 2 e 6	Ebrax	x							5.3	n
Meio fio estacionamentos e cul de sacs Acesso 6, 4, 3 e 2	Ebrax		x	x					1.6	n
Asfalto Acessos 3, 4, 5 e 6 (até Acesso 2)	Ebrax				x	x			5.1	n
ATIVIDADE RESERVA: Asfalto Acesso 2	Ebrax								5.1	n
Concreto Radier 159/169 - QN	Artsul	x								s
Concreto Radier 147/157 -QN	Artsul		x						5.3	n
Terminar hidra. 135/145 - QN	Artsul					x			5.2	n
Concreto parede QH- lotes 93/94	Artsul			x						s
Radier 124/134 - QL	De Lucca	x								s
Radier 123/133 - QM	De Lucca		x						1.7	n

Fonte: elaborado por empresa.

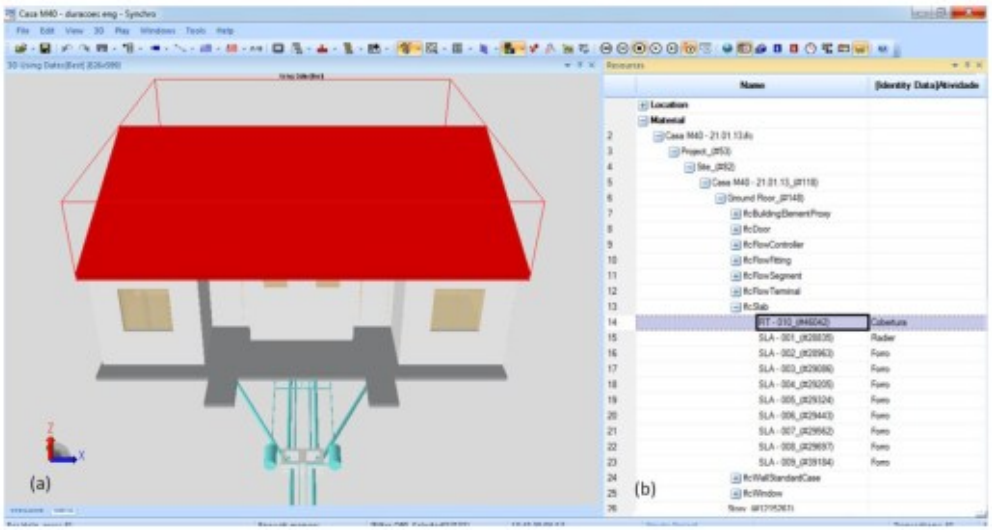
A análise do cronograma de longo prazo e da programação semanal da obra E22 revela a ausência de conexão formal entre os pacotes do MS Project e as frentes de serviço do curto prazo. Essa lacuna se manifesta na diferença de granularidade entre os planos, na falta de uniformidade na linguagem usada para descrever os processos e na identificação livre dos locais de execução, com códigos como “Acesso 2” ou “QN” sem vínculo claro com os trechos mapeados na implantação.

A Figura 24 apresenta a modelagem 4D desenvolvida para uma dupla de casas geminadas do no Synchro. Esta modelagem faz parte de uma pesquisa anterior desenvolvida pela autora, cujo objetivo consistiu em empregar a Simulação de Eventos Discretos e a modelagem BIM 4D no planejamento da obra em fase pré-executiva (Reck, 2013). Cada pacote de trabalho foi mapeado por meio de um diagrama de precedência e representado por elementos físicos no modelo BIM. Para viabilizar a integração com a modelagem 4D, criou-se a propriedade “Atividade” no conjunto *Identity Data* do modelo IFC no ArchiCAD (Figura 24B), atribuída a todos os elementos. Ao importar o modelo para o Synchro (Figura 24A), essa propriedade torna-se visível, permitindo a associação direta entre elementos e pacotes de trabalho — como ilustrado na seleção do telhado em vermelho. Essa vinculação facilita a representação das atividades na simulação 4D, mas exige que o “elemento” seja formalmente definido como propriedade do pacote de trabalho.

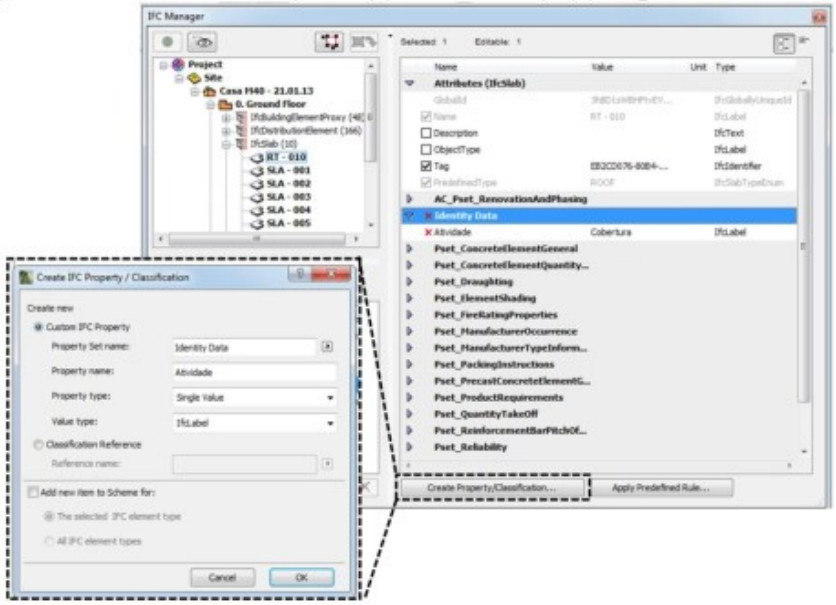
A vinculação explícita entre os elementos do modelo BIM e os pacotes de trabalho amplia o nível de contextualização semântica do sistema de planejamento. Nesse caso, o modelo 4D

deixa de ser apenas uma representação temporal das atividades e passa a incorporar também o contexto espacial, uma vez que cada pacote de trabalho é materializado por um conjunto de elementos físicos no modelo BIM. Essa associação entre pacote de trabalho e elemento estabelece uma camada adicional de significado: o pacote de trabalho deixa de ser uma abstração operacional e passa a ter uma ancoragem concreta no espaço de produção. Assim, a contextualização semântica se estende à dimensão espacial do modelo, possibilitando que o controle da produção seja interpretado simultaneamente no tempo, no espaço e na estrutura de informação.

Figura 24 – modelagem 4D da obra E22 no ArchiCAD



(a) modelagem 4D da obra E22 no ArchiCAD



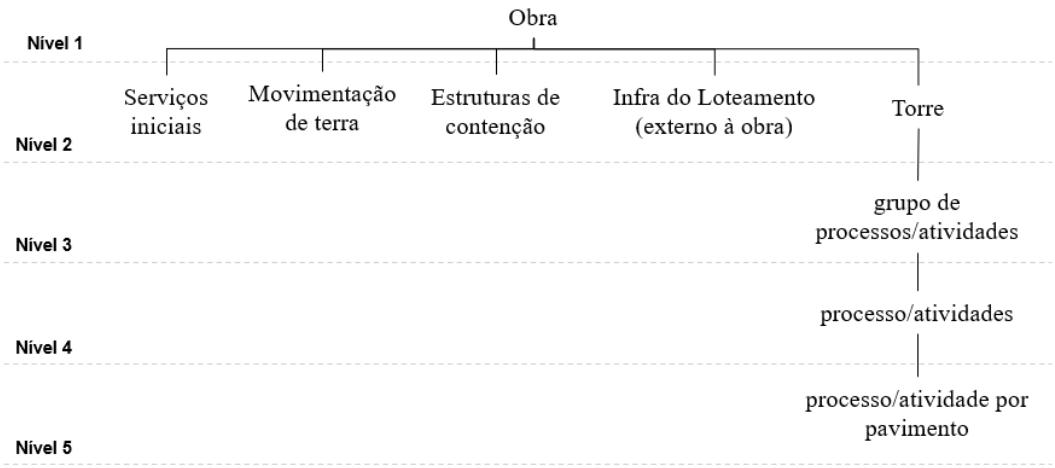
(b) propriedade de *identity data* no IFC criada no ArchiCAD
Fonte: elaborado por Reck (2013).

4.1.2 Hierarquia das Unidades de Controle

4.1.2.1 Obra E17

A Figura 25 apresenta a estrutura hierárquica da obra E17, conforme extraída do cronograma no MS Project (Figura 26). Essa organização mostra como as unidades de controle foram definidas pela combinação entre níveis de agregação por processo e localização, possibilitando o desdobramento do planejamento em diversas escalas. O Nível 1 corresponde ao empreendimento (Obra); o Nível 2 às principais frentes, como Serviços Iniciais, Movimentação de Terra, Estruturas de Contenção, Infra do Loteamento e Torres. No Nível 3, cada torre é subdividida por grupos de atividades (Obra Bruta, Revestimento Externo, Obra Fina, Acabamentos), e o Nível 4 detalha processos específicos, como supra estrutura, alvenaria ou massa única.

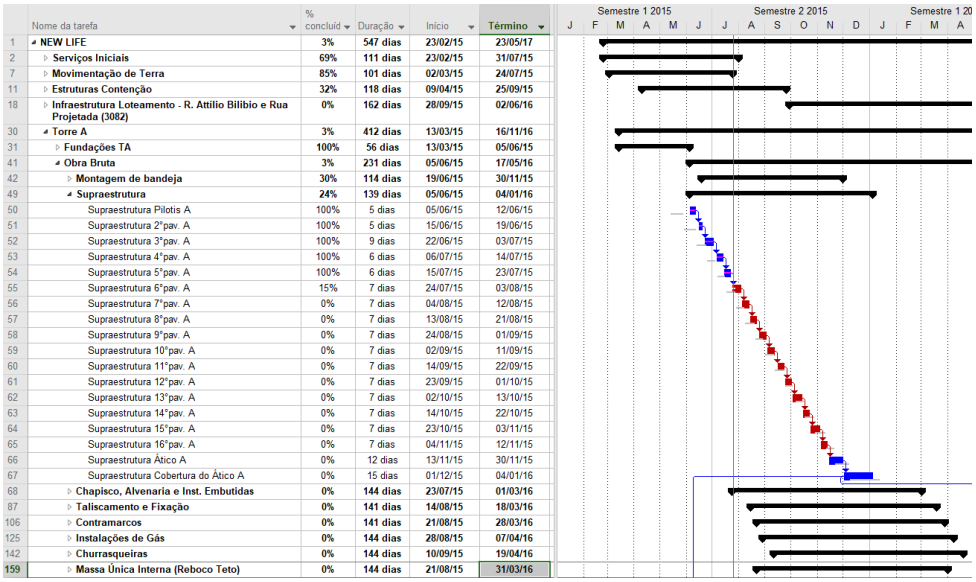
Figura 25 - hierárquica mapeada do cronograma da obra E17



Fonte: elaborado pela autora baseada no MS Project da empresa.

O Nível 5 representa a unidade mais específica: a atividade por pavimento (ex.: supra estrutura – 5º pavimento da Torre A). Essa decomposição progressiva permite controlar a produção desde processos agregados até tarefas localizadas. É com base no Nível 5 que se constrói a linha de balanço no MS Project, repetindo-se os mesmos serviços por pavimento. No entanto, esse grau de agregação ainda não atende à demanda de detalhamento exigida pela programação de curto prazo, conforme discutido anteriormente.

Figura 26 – hierarquia no cronograma da obra E17



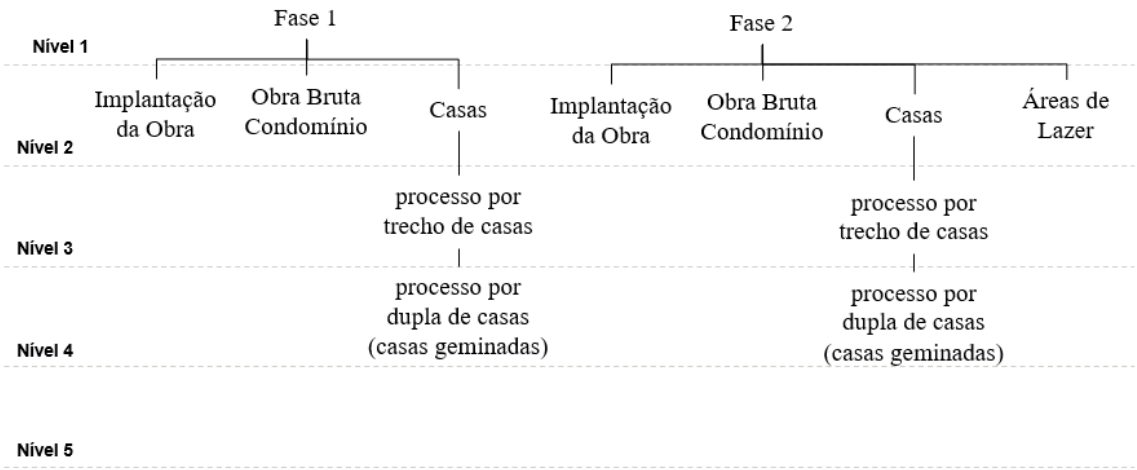
	Nome da tarefa	% concluíd	Duração	Início	Término
1	NEW LIFE	3%	547 dias	23/02/15	23/05/17
2	Serviços Iniciais	69%	111 dias	23/02/15	31/07/15
7	Movimentação de Terra	85%	101 dias	02/03/15	24/07/15
11	Estruturas Contenção	32%	118 dias	09/04/15	25/09/15
18	Infraestrutura Loteamento - R. Attilio Bilibio e Rua Projetada (3082)	0%	162 dias	28/09/15	02/06/16
30	Torre A	3%	412 dias	13/03/15	16/11/16
31	Fundações TA	100%	56 dias	13/03/15	05/06/15
41	Obra Bruta	3%	231 dias	05/06/15	17/05/16
42	Montagem de bandeja	30%	114 dias	19/06/15	30/11/15
49	Supraestrutura	24%	139 dias	05/06/15	04/01/16
50	Supraestrutura Pilotis A	100%	5 dias	05/06/15	12/06/15
51	Supraestrutura 2°pav. A	100%	5 dias	15/06/15	19/06/15
52	Supraestrutura 3°pav. A	100%	9 dias	22/06/15	03/07/15
53	Supraestrutura 4°pav. A	100%	6 dias	06/07/15	14/07/15
54	Supraestrutura 5°pav. A	100%	6 dias	15/07/15	23/07/15
55	Supraestrutura 6°pav. A	15%	7 dias	24/07/15	03/08/15
56	Supraestrutura 7°pav. A	0%	7 dias	04/08/15	12/08/15
57	Supraestrutura 8°pav. A	0%	7 dias	13/08/15	21/08/15
58	Supraestrutura 9°pav. A	0%	7 dias	24/08/15	01/09/15
59	Supraestrutura 10°pav. A	0%	7 dias	02/09/15	11/09/15
60	Supraestrutura 11°pav. A	0%	7 dias	14/09/15	22/09/15
61	Supraestrutura 12°pav. A	0%	7 dias	23/09/15	01/10/15
62	Supraestrutura 13°pav. A	0%	7 dias	02/10/15	13/10/15
63	Supraestrutura 14°pav. A	0%	7 dias	14/10/15	22/10/15
64	Supraestrutura 15°pav. A	0%	7 dias	23/10/15	03/11/15
65	Supraestrutura 16°pav. A	0%	7 dias	04/11/15	12/11/15
66	Supraestrutura Ático A	0%	12 dias	13/11/15	30/11/15
67	Supraestrutura Cobertura do Ático A	0%	15 dias	01/12/15	04/01/16
68	Chapisco, Alvenaria e Inst. Embutidas	0%	144 dias	23/07/15	01/03/16
87	Taliscamento e Fixação	0%	141 dias	14/08/15	18/03/16
106	Contramarcos	0%	141 dias	21/08/15	28/03/16
125	Instalações de Gás	0%	144 dias	28/08/15	07/04/16
142	Churrasqueiras	0%	144 dias	10/09/15	19/04/16
159	Massa Única Interna (Reboco Teto)	0%	144 dias	21/08/15	31/03/16

Fonte: elaborado por empresa.

4.1.2.2 Obra E22

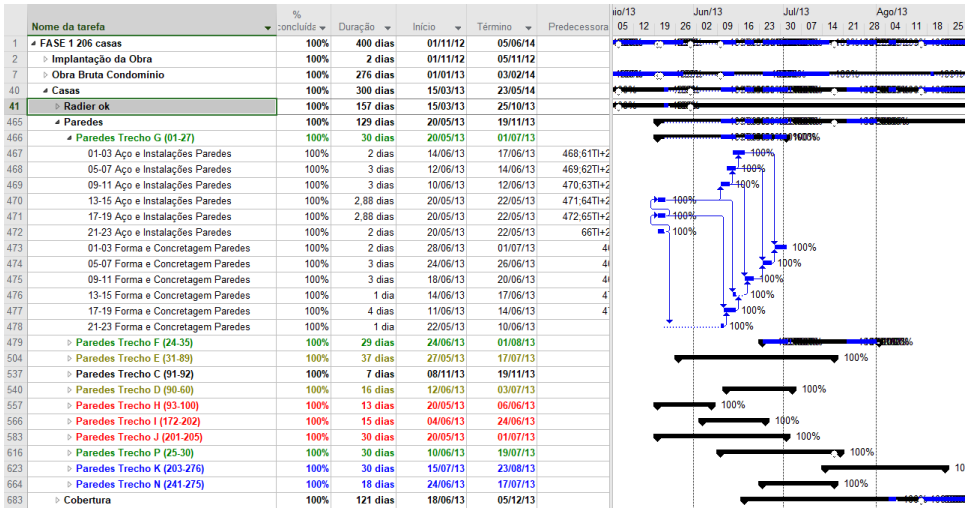
A Figura 27 apresenta a hierarquia das unidades de controle da obra E22, conforme mapeada no cronograma no MS Project (Figura 28). A estrutura organiza-se a partir de duas fases construtivas — Fase 1 e Fase 2 — que refletem a divisão física e as entregas do empreendimento. No Nível 1 estão essas fases, usadas como agrupamentos principais do planejamento. O Nível 2 subdivide cada fase em até quatro componentes: implantação da obra, obra bruta condomínio, casas e área de lazer.

Figura 27 - hierárquica mapeada do cronograma da obra E22



Fonte: elaborado pela autora baseada no MS Project da empresa.

Figura 28 – hierarquia da obra E22



	Nome da tarefa	% concluída	Duração	Início	Término	Predecessoras
1	FASE 1 206 casas	100%	400 dias	01/11/12	05/06/14	
2	Implantação da Obra	100%	2 dias	01/11/12	05/11/12	
7	Obra Bruta Condomínio	100%	276 dias	01/01/13	03/02/14	
40	Casas	100%	300 dias	15/03/13	23/05/14	
41	Radier ok	100%	157 dias	15/03/13	25/10/13	
465	Paredes	100%	129 dias	20/05/13	19/11/13	
466	Paredes Trecho G (01-27)	100%	30 dias	20/05/13	01/07/13	
467	01-03 Aço e Instalações Paredes	100%	2 dias	14/06/13	17/06/13	468;61TI+2
468	05-07 Aço e Instalações Paredes	100%	3 dias	12/06/13	14/06/13	469;62TI+2
469	09-11 Aço e Instalações Paredes	100%	3 dias	10/06/13	12/06/13	470;63TI+2
470	13-15 Aço e Instalações Paredes	100%	2,88 dias	20/05/13	22/05/13	471;64TI+2
471	17-19 Aço e Instalações Paredes	100%	2,88 dias	20/05/13	22/05/13	472;65TI+2
472	21-23 Aço e Instalações Paredes	100%	2 dias	20/05/13	22/05/13	66TI+2
473	01-03 Forma e Concretagem Paredes	100%	2 dias	28/06/13	01/07/13	4
474	05-07 Forma e Concretagem Paredes	100%	3 dias	24/06/13	26/06/13	4
475	09-11 Forma e Concretagem Paredes	100%	3 dias	18/06/13	20/06/13	4
476	13-15 Forma e Concretagem Paredes	100%	1 dia	14/06/13	17/06/13	4
477	17-19 Forma e Concretagem Paredes	100%	4 dias	11/06/13	14/06/13	4
478	21-23 Forma e Concretagem Paredes	100%	1 dia	22/05/13	10/06/13	
479	Paredes Trecho F (24-35)	100%	29 dias	24/06/13	01/08/13	
504	Paredes Trecho E (31-89)	100%	37 dias	27/05/13	17/07/13	
537	Paredes Trecho C (91-92)	100%	7 dias	08/11/13	19/11/13	
540	Paredes Trecho D (90-60)	100%	16 dias	12/06/13	03/07/13	
557	Paredes Trecho H (93-100)	100%	13 dias	20/05/13	06/06/13	
566	Paredes Trecho I (172-202)	100%	15 dias	04/06/13	24/06/13	
583	Paredes Trecho J (201-205)	100%	30 dias	20/05/13	01/07/13	
616	Paredes Trecho P (25-30)	100%	30 dias	10/06/13	19/07/13	
623	Paredes Trecho K (203-276)	100%	30 dias	15/07/13	23/08/13	
664	Paredes Trecho N (241-275)	100%	18 dias	24/06/13	17/07/13	
683	Cobertura	100%	121 dias	18/06/13	05/12/13	

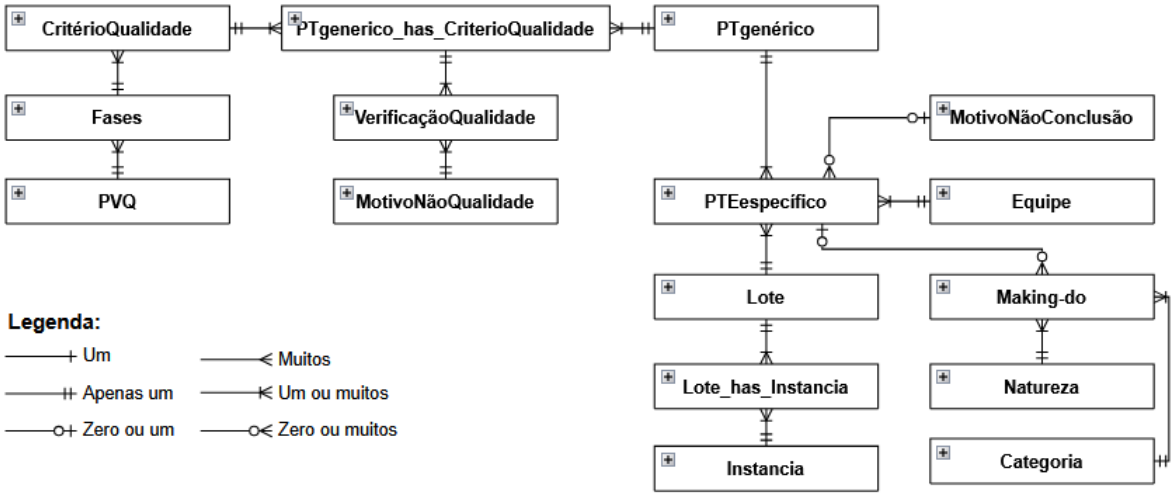
Fonte: elaborado por empresa.

As casas são detalhadas no Nível 3 por processos aplicados a trechos de casas (ex.: Paredes Trecho G ou Trecho H), possibilitando o controle físico por grupo de unidades. No Nível 4, encontram-se os processos aplicados a duplas de casas geminadas, representando a menor unidade registrada no cronograma (ex.: 21-23 Forma e Concretagem Paredes). Essa hierarquia reflete a lógica de repetição típica de empreendimentos horizontais, permitindo o sequenciamento linear e o controle ao longo do tempo e do espaço. Assim como na obra E17, o MS Project estruturou essa hierarquia, consolidando os pacotes por localização e processo, embora restrita ao médio e longo prazo.

Na obra E22, também foi desenvolvido um modelo de dados representado no diagrama entidade-relacionamento (ERD) da Figura 29, com o objetivo de estruturar o controle da execução dos pacotes de trabalho no curto prazo. Essa modelagem, elaborada por Leão (2014), buscou integrar o controle de qualidade e perdas por making-do[1] com os pacotes de curto prazo do LPS, utilizando a obra E22 como estudo de caso. A estrutura baseou-se em duas entidades principais, o PT genérico e o PTE específico, que representavam hierarquias distintas para os pacotes de trabalho.

[1] Segundo Leão (2014), as perdas por making-do ocorrem quando uma tarefa é iniciada ou executada sem que todos os recursos necessários estejam disponíveis, levando as equipes a recorrerem a improvisações para concluir o trabalho. Esse tipo de perda está associado a consequências como retrabalho, redução da qualidade, falta de terminalidade e diminuição da produtividade, sendo monitorado no modelo de controle integrado da produção e qualidade proposto pela autora.

Figura 29 – diagrama de ERD para controle de produção e qualidade



Fonte: baseado em Leão (2014)

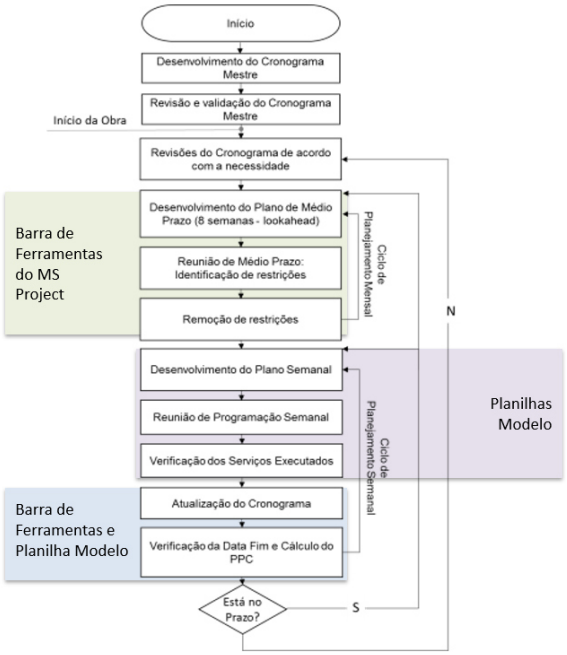
O PT genérico reúne os critérios de avaliação da qualidade, com descrições de requisitos e lógica de verificação, padronizando os parâmetros esperados para conclusão dos pacotes. Já o PTE específico é a aplicação desses critérios na programação, vinculado diretamente a cada instância de pacote de trabalho e seu lote. Ele também se relaciona a dados de status, perdas por making-do, motivos de não conclusão e equipe responsável, permitindo uma avaliação detalhada por unidade de controle.

A estrutura proposta por Leão (2014) também introduz um importante movimento em direção à contextualização semântica do sistema de verificação da qualidade. Ao relacionar cada instância de PT genérico a seus critérios de avaliação, o modelo estabelece uma semântica operacional entre ação executada e requisito verificado, integrando os domínios da produção e da qualidade sob uma lógica comum. Essa integração permite que os dados de verificação deixem de ser registros isolados e passem a representar significados dentro de um contexto de execução, vinculados a quem executa, quando executa e em que condições. No entanto, a ausência de hierarquia entre os diferentes horizontes de planejamento limita a plena expressão dessa contextualização, uma vez que o significado do controle permanece restrito ao curto prazo. A ampliação da modelagem para níveis de médio e longo prazo é, portanto, fundamental para que a semântica da qualidade se propague por toda a estrutura do sistema produtivo, fortalecendo a rastreabilidade e a coerência das informações entre escalas.

4.1.3 Registro das informações de Status

O registro do status das unidades de controle nas obras da empresa ocorre ao longo dos ciclos de longo, médio e curto prazo, conforme representado no fluxograma da Figura 30.

Figura 30 – procedimento operacional

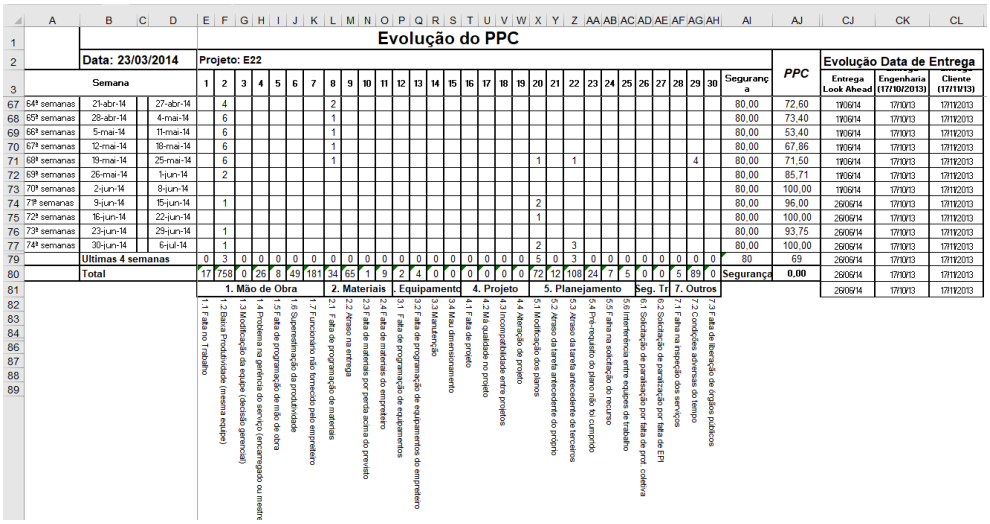


Fonte: elaborado pela empresa.

No ciclo de planejamento de médio prazo, os pacotes são filtrados no cronograma de longo prazo no MS Project (Figura 17). A identificação das restrições ocorre em reuniões mensal e é consolidada na visualização de restrições (Figura 18).

No curto prazo, a programação ocorre em planilhas modelo (Figura 19) com dois momentos de preenchimento: antes da semana, para programar as unidades de controle, e após sua conclusão, para revisar o status dos pacotes e identificar motivos de não cumprimento. Também são monitorados indicadores por meio de uma planilha de quadros (Figura 31), com aba para registro do PPC, previsão de entrega da obra e causas dos desvios. A partir dos registros dos dados, gráficos de PPC previsão de entrega da obra e causas dos desvios eram gerados automaticamente.

Figura 31 – aba de registro dos indicadores por semana



Evolução do PPC

Data: 23/03/2014 — Projeto: E22

Semana			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Segurança	PPC	Evolução Data de Entrega: Entrega Look Ahead	Engenharia (17/10/2013)	Cliente (17/11/13)
64ª semanas	21-abr-14	27-abr-14		4						2																						80,00	72,60	17/06/14	17/10/13	17/11/2013
65ª semanas	28-abr-14	4-mai-14		6						1																						80,00	73,40	17/06/14	17/10/13	17/11/2013
66ª semanas	5-mai-14	11-mai-14		6						1																						80,00	53,40	17/06/14	17/10/13	17/11/2013
67ª semanas	12-mai-14	18-mai-14		6						1																						80,00	67,86	17/06/14	17/10/13	17/11/2013
68ª semanas	19-mai-14	25-mai-14		6						1												1		1						4		80,00	71,50	17/06/14	17/10/13	17/11/2013
69ª semanas	26-mai-14	1-jun-14		2																												80,00	85,71	17/06/14	17/10/13	17/11/2013
70ª semanas	2-jun-14	8-jun-14																														80,00	100,00	17/06/14	17/10/13	17/11/2013
71ª semanas	9-jun-14	15-jun-14		1																		2										80,00	96,00	26/06/14	17/10/13	17/11/2013
72ª semanas	16-jun-14	22-jun-14																				1										80,00	100,00	26/06/14	17/10/13	17/11/2013
73ª semanas	23-jun-14	29-jun-14		1																												80,00	93,75	26/06/14	17/10/13	17/11/2013
74ª semanas	30-jun-14	6-jul-14		1																		2		3								80,00	100,00	26/06/14	17/10/13	17/11/2013
Ultimas 4 semanas			0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	80	69	26/06/14	17/10/13	17/11/2013
Total			17	758	0	26	8	49	181	34	65	1	9	2	4	0	0	0	0	0	0	72	12	108	24	7	5	0	0	5	89	0	Segurança	0,00	26/06/14	17/10/13	17/11/2013

1. Mão de Obra: 1.1 Falta no Trabalho; 1.2 Baixa Produtividade (mesma equipe); 1.3 Modificação da equipe (decisão gerencial); 1.4 Problema na gerência do serviço (encarregado ou mestre); 1.5 Falta de programação de mão de obra; 1.6 Superestimação da produtividade; 1.7 Funcionário não firmado pelo empreiteiro

2. Materiais: 2.1 Falta de programação de materiais; 2.2 Atraso na entrega; 2.3 Falta de materiais por perda acima do previsto; 2.4 Falta de materiais do empreiteiro

3. Equipamento: 3.1 Falta de programação de equipamentos; 3.2 Falta de programação de equipamentos do empreiteiro; 3.3 Manutenção; 3.4 Mau dimensionamento

4. Projeto: 4.1 Falta de projeto; 4.2 Má qualidade no projeto; 4.3 Incompatibilidade entre projetos; 4.4 Alteração de projeto

5. Planejamento: 5.1 Modificação dos planos; 5.2 Atraso da tarefa antecedente de terceiros; 5.3 Atraso da tarefa antecedente do próprio; 5.4 Pré-requisito do plano não foi cumprido; 5.5 Falta na solicitação do recurso; 5.6 Interferência entre equipes de trabalho; 5.7 Solicitação de paralisação por falta de prot. coletiva

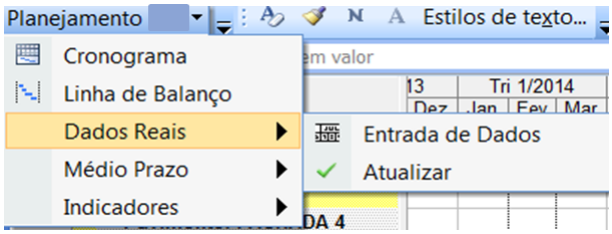
Seg. Tr: 6.1 Solicitação de paralisação por falta de EPI; 6.2 Solicitação de paralisação por falta de EPC

7. Outros: 7.1 Falha na inspeção dos serviços; 7.2 Condições adversas do tempo; 7.3 Falta de liberação de órgãos públicos

Fonte: elaborado pela empresa.

Por fim, o cronograma no MS Project é retroalimentado manualmente com os dados consolidados do curto prazo, promovendo a atualização do plano de médio prazo e longo prazo. Esse processo era realizado com o auxílio de uma barra de ferramentas e macros em VBA apresentada na Figura 32. Ao final da atualização, a data de previsão de término da obra era gerada pelo cálculo do caminho crítico do Ms Project (Figura 33) e comparada segundo as referências de entrega da engenharia, antes do processo de habite-se, e para o cliente, data contratual com os clientes das unidades.

Figura 32 – barra de ferramentas no MS Project

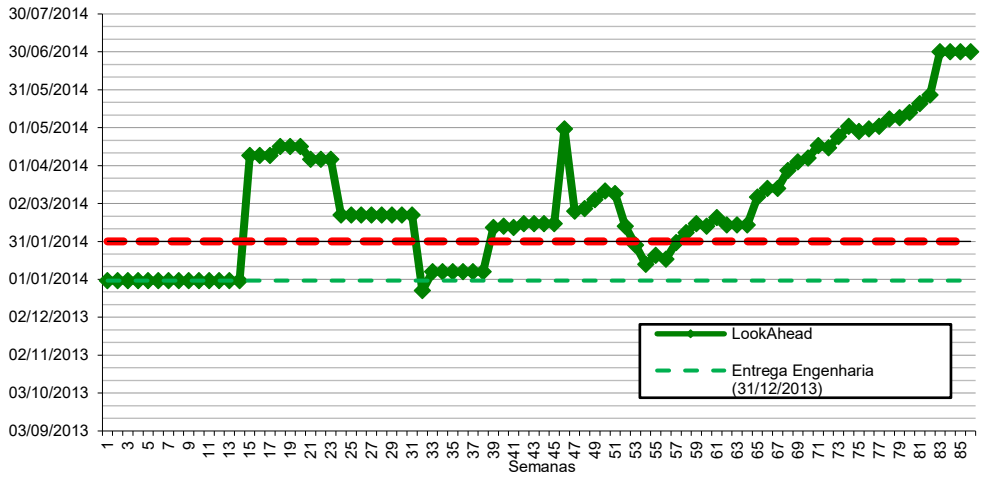


Fonte: elaborado pela empresa.

Apesar dos esforços da empresa na estruturação do planejamento e controle da produção, persistem limitações no registro do status dos pacotes de trabalho, causadas pela fragmentação das informações entre ferramentas. O MS Project concentra dados de longo e médio prazo, enquanto planilhas são usadas para o curto prazo e indicadores. Essa separação dificulta a visualização integrada dos diferentes níveis hierárquicos, cujos graus de agregação variam conforme o horizonte (estratégico, tático e operacional). Como consequência, há impactos na

rastreabilidade das metas, na análise de desvios e na retroalimentação automatizada dos planos superiores. A ausência de um ambiente unificado compromete a fluidez das decisões, exigindo preenchimento manual e comunicação informal entre equipes. Assim, embora o modelo atual ofereça instrumentos básicos, falta integração entre os planos e uma estrutura única de dados para consolidar e analisar o desempenho dos pacotes de trabalho em múltiplos níveis.

Figura 33 – previsão de entrega da obra E22



Fonte: elaborado pela empresa.

4.1.4 Considerações sobre o sistema LPS implantado

A análise do PCP nas obras E17 e E22 revelou limitações estruturais quanto à definição das unidades de controle (UC), padronização da linguagem, hierarquia entre os horizontes de planejamento e fragmentação dos registros de status. Observou-se a ausência de uma definição unificada de UC que atenda simultaneamente ao planejamento e à produção. A estrutura de Leão (2014), aplicada na obra E22, explora a repetição dos processos por lote, mas não incorpora a estrutura facetada proposta neste estudo, que combina processo, elemento e local como dimensões complementares. Essa lacuna dificulta a rastreabilidade e a interoperabilidade entre níveis. Quanto ao vocabulário, há padronização parcial nos cronogramas de longo prazo, adaptada à tipologia da obra, mas ela não é padronizada no curto prazo, onde predominam descrições livres e linguagem locais (como “QN” ou “Acesso 2”), comprometendo a consistência semântica e a integração dos dados. No que tange à hierarquia, os cronogramas do MS Project adotam estruturas distintas: E17 com cinco níveis verticais; E22 com organização por fase, grupo e trecho. Apesar desses níveis serem capazes de representar os pacotes de trabalho do curto prazo, não há vínculo formal com os registros do curto prazo, que operam

com granularidade própria e sem reaproveitar a estrutura superior. Já a fragmentação dos dados entre MS Project e planilhas impede a consolidação das informações e a visualização integrada dos planos. Embora as planilhas registrem status e causas de não cumprimento, os dados não são incorporados ao cronograma mestre, dificultando a retroalimentação e o monitoramento sistêmico.

Além disso, as modelagens BIM 4D (Reck, 2013) e o controle das verificações da qualidade e perdas por making-do (Leão, 2014) demonstram potenciais adicionais de contextualização semântica ao permitir que os pacotes de trabalho sejam associados a elementos físicos, espaços produtivos e critérios de desempenho. No caso do BIM 4D, a integração temporal e espacial amplia o significado dos pacotes de trabalho, conectando atividades, locais e responsáveis em um mesmo contexto informacional. De modo semelhante, o modelo de controle da qualidade introduz semântica entre a execução e a verificação, transformando requisitos e resultados em relações de sentido dentro do sistema produtivo.

Em síntese, o modelo de PCP da empresa carece de integração, padronização e estrutura hierárquica única, o que compromete o alinhamento entre os níveis estratégico, tático e operacional (fragmentação vertical) e entre diferentes obras (fragmentação longitudinal). Mesmo com a aplicação de dimensões semânticas nos processos da empresa, a estrutura deficiente de dados ainda limita o potencial de aprendizado organizacional a partir das informações geradas nas obras.

4.2 APLICAÇÃO DOS CONTRUCTOS

Nesta etapa, os dados das obras E17 e E22 foram utilizados para aplicar a estrutura conceitual proposta, superando as limitações observadas nos modelos de PCP da empresa. Primeiramente, adotou-se a estrutura facetada para definição das unidades de controle, combinando processo, elemento e local. Em seguida, buscou-se integrar os horizontes de longo, médio e curto prazo por meio de uma linguagem padronizada, testando a norma OmniClass™ para classificar os pacotes de trabalho. A hierarquia da OmniClass™ também foi usada para reorganizar os níveis de agregação das unidades, promovendo consistência entre planos. Por fim, os status das unidades foram registrados em uma base de dados unificada, permitindo integração entre obras e retroalimentação sistemática do planejamento.

4.2.1 Definição das Facetas e Linguagem Formalizada

Primeiramente foi definido o modelo de definição das unidades de controle a partir das facetas de processo, elemento e local. A Quadro 28 apresenta um exemplo de definição pela classificação de uma parede em painel de concreto, comum a tipologia do empreendimento E22, e uma parede em drywall, comum a tipologia do empreendimento E17.

Quadro 28 – definição de unidade de controle pela OmniClass™ e estrutura de local

Processo	**Elemento**	**Local**	
tabela 22 da OmniClass™	tabela 21 da OmniClass™	conforme Figura 35 (descrita a seguir)	**Imagem descritiva**
22-03 30 00 Cast-in-Place Concrete	21-02.20.10.20 Exterior Wall Construction	E22:02:00E:031 Fase 1 - Quadra E - Casa 31	
22-09 21 16 Gypsum Board Assemblies	21-03.10.10.10 Interior Fixed Partitions	E17:03:103:05 Torre A - 1° Pavimento - Apartamentos	

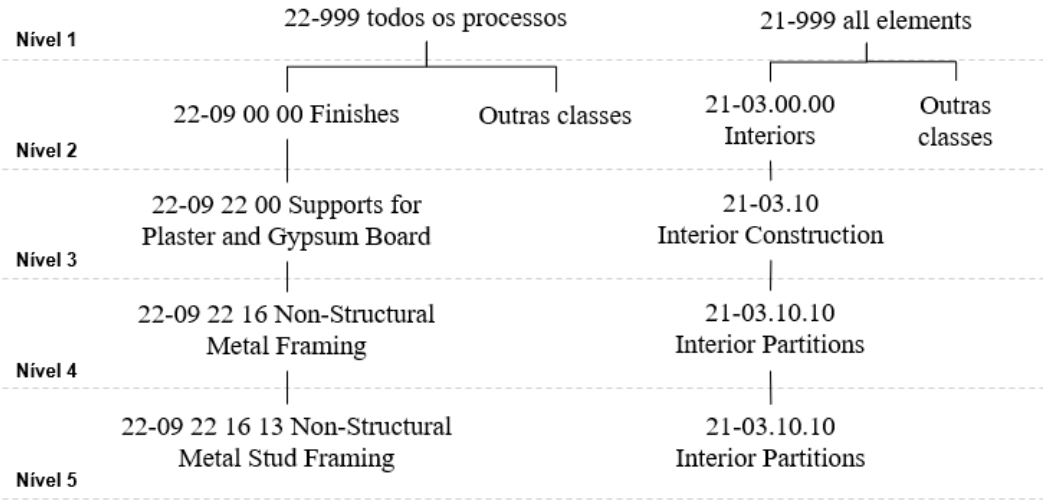
Fonte: elaborado pela autora.

Assim, cada unidade de controle é definida de forma facetada, combinando três dimensões. Os processos e elementos seguem as tabelas 22 e 21 da OmniClass™, padronizando sua descrição. A dimensão local baseia-se na estrutura espacial da obra (fase, quadra, torre, pavimento), indicando onde a atividade ocorre. Essa codificação sistemática facilita a integração dos níveis de planejamento, a rastreabilidade da produção e o registro estruturado do status em uma base unificada

4.2.2 Definição da Hierarquia

Em seguida, foi obtida as tabelas normatizadas 22 e 21 da OmniClass™ e foi consolidada a sua hierarquia em nomenclatura de ERD, introduzindo o parâmetro FatherID para indicar a relação entre nodos pai e filho. Todos os itens têm um FatherID, agrupando-se no nível mais alto com os códigos 22-999 para processos e 21-999 para elementos, funcionando como nodos raiz na estrutura de dados da OmniClass™. A Figura 34 ilustra um exemplo típico de hierarquia para as facetas de processo e elemento.

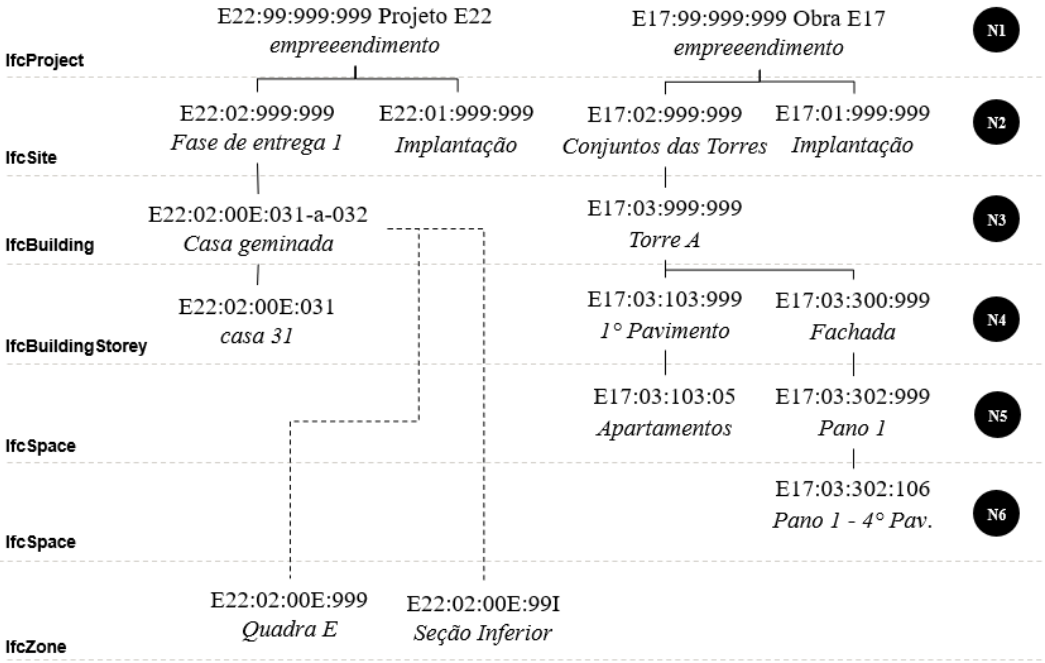
Figura 34 - hierárquica desenvolvida com a OmniClass™



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 35 apresenta a hierarquia espacial dos projetos E17 e E22 conforme os padrões do IFC 4.0, evidenciando sua aplicação a diferentes tipologias construtivas — vertical e horizontal. No Nível 1, ambos os empreendimentos são representados pela entidade *IfcProject*, correspondente ao projeto como um todo. O Nível 2 refere-se à área de implantação e à infraestrutura geral da obra, bem como ao conjunto de unidades habitacionais — sejam fases de entrega ou conjuntos de torres — modelados pela entidade *IfcSite*. O Nível 3 corresponde às duplas de casas geminadas na obra E22 e à torre na obra E17, ambas representadas pela entidade *IfcBuilding*. O Nível 4 representa a casa individual na obra E22 e o pavimento na E17, descritos pela entidade *IfcBuildingStorey*. No projeto E17, as fachadas também são estruturadas hierarquicamente, com seus conjuntos de panos no Nível 4 (*IfcBuildingStorey*), panos individuais no Nível 5 (*IfcSpace*) e panos por pavimento no Nível 6 (*IfcSpace*). As quadras e seções inferiores e superiores da obra E22 representam agrupamentos de casas geminadas, sendo modeladas como agrupamentos lógicos — e não hierárquicos — por meio da entidade *IfcZone*. Essa hierarquia combina entidades espaciais e relacionais do IFC, oferecendo uma estrutura coerente para rastreabilidade espacial, padronização semântica e definição granular das unidades de controle

Figura 35 - hierárquica dos locais dos projetos E22 e E17 conforme padrões do IFC



Fonte: elaborado pela autora.

As principais diferenças entre a estrutura hierárquica dos cronogramas originais das obras e a estrutura espacial adotada neste estudo são as seguintes:

a) na obra E22, foi introduzido um nível superior de projeto (Projeto E22), ausente no cronograma original, que iniciava diretamente pelas fases construtivas, a fim de compatibilizar a estrutura com os padrões do IFC;
b) foi incluído um nível de seção da quadra (por exemplo, seções inferior e superior), considerando que em determinadas semanas de planejamento de curto prazo os processos eram discriminados com base nessa subdivisão espacial;
c) por fim, acrescentou-se um nível referente à unidade habitacional individual, dado que, em diversos registros semanais, as atividades eram especificadas por casa de forma isolada, exigindo uma representação mais granular no modelo hierárquico;
d) foi inserido um nível intermediário correspondente ao conjunto das torres na obra E17, com o objetivo de alinhar a granularidade da hierarquia àquela observada na obra E22 e permitir uma comparação estrutural equivalente entre os empreendimentos;
e) foi criada uma ramificação específica para fachadas, a fim de representar os panos de fachada (cortes horizontais da torre) por pavimento, conforme a lógica adotada no curto prazo para detalhamento das frentes de trabalho.

O Quadro 29 complementa as Figura 34 e Figura 35 ao descrever as propriedades e identificadores de cada entidade das facetas de processo, elemento e local, utilizadas na estruturação hierárquica do modelo. As entidades OmniClass22 e OmniClass21 correspondem,

respectivamente, às facetas de processo e elemento, cada uma identificada por um código único da norma (Id_processo e Id_elemento) e organizada de forma hierárquica por meio do atributo FatherID, que estabelece as relações entre nodos pai e filho. Já a entidade Local_IFC representa a faceta espacial, cujo identificador composto (Id_local) integra as informações de obra e a composição dos níveis hierárquicos de 2 a 6 da estrutura de local, permitindo rastreabilidade espacial em diferentes graus de detalhe. Cada faceta inclui uma descrição hierárquica conforme discutida nas Figura 34 e Figura 35. Essa estrutura garante a consistência entre as facetas e a interoperabilidade entre as dimensões de processo, elemento e local, constituindo a base semântica para a definição das unidades de controle no modelo relacional.

Quadro 29 – propriedades de cada entidade das facetas

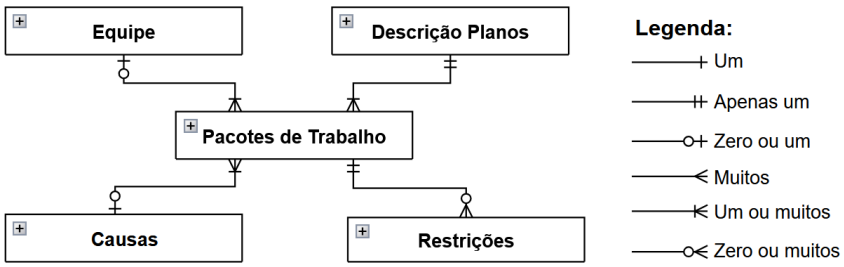
Propriedades	**Entidades**		
	OmniClass22	**OmniClass21**	**Local_IFC**
Identificador Único (chave primária)	Id_processo (código da norma)	Id_elemento (código da norma)	Id_local (Obra + Nivel 2 + Nivel 3 e 4 + Nivel 5 e 6)
Descrição	Nome do processo segundo a taxonomia oficial da tabela OmniClass™ 22	Nome do elemento segundo a taxonomia oficial da tabela OmniClass™ 21	Nome descritivo de local
Nível 2 ao 6			Caracterizado por letras ou números representativos dos níveis 2 ao 6 da hierarquia de local (Figura 35)
FatherID	processo_FatherID	elemento_FatherID	local_FatherID
Nível hierárquico	Indica a profundidade do item na hierarquia	Indica a profundidade do item na hierarquia	Indica a profundidade do item na hierarquia

Fonte: elaborado pela autora.

4.2.3 Estruturação dos Dados em Notação de ERD

Todos as informações de controle das obras E22 e E17 foram compiladas em uma planilha eletrônica. Informações similares foram tabuladas em conjunto entre obras, formalizando entidades distintas do ERD, como causas de não cumprimento dos planos, equipes, descrição dos planos, restrições e pacotes de trabalho. Esta compilação seguiu a notação de ERD, também trazendo um identificador único (ID) para cada item e estabelecendo relações entre as entidades conforme a Figura 36.

Figura 36 - compilação inicial das informações em ERD



Fonte: elaborado pela autora.

A relação entre Pacotes de Trabalho e Equipes é opcional no lado dos pacotes, permitindo a ausência de equipe atribuída — situação comum nos planos de médio e longo prazo. Já uma mesma equipe pode atuar em diversos pacotes. A entidade Causas segue lógica semelhante: um pacote pode não ter causa registrada, mas cada causa pode estar vinculada a diferentes pacotes. Em relação à Descrição dos Planos, cada pacote deve estar obrigatoriamente associado a apenas um plano, enquanto um mesmo plano pode agrupar diversos pacotes. Quanto às Restrições, a associação também é opcional, uma vez que muitos pacotes de curto prazo não possuem restrições registradas. Cada restrição, entretanto, vincula-se a um único pacote, conforme a lógica adotada no planejamento de médio prazo pelo MS Project da empresa. Essa compilação inicial dos dados representa a forma de registro prévio das informações, mas não a estrutura final do modelo, que será discutida após o tratamento das unidades de controle em facetas.

O Quadro 30 apresenta as propriedades que compõem as entidades apresentadas na Figura 36 incluindo suas chaves primárias e chaves estrangeiras. Quando não há descrição no cruzamento entre entidade e propriedade, significa que a respectiva propriedade não está presente naquela entidade. A entidade Pacote de Trabalho é identificada pela chave primária Id_PT e conecta-se às demais por meio das chaves estrangeiras Id_plano, Id_equipe, Id_causas e Id_restricao, assegurando a rastreabilidade entre planos, equipes, causas e restrições. A entidade Causas possui o Id_causas e estrutura hierárquica representada pelo atributo Causas_FatherID.

De forma semelhante, Restrições são identificadas por Id_restricao e incluem atributos de data limite de remoção, responsável e status, enquanto Descrição Planos utilizam Id_plano, contendo os atributos de tipo de plano, duração e datas de início e término. Por fim, a entidade Equipe, identificada por Id_equipe, representa os empreiteiros e equipes de trabalho responsáveis pela execução dos pacotes.

Quadro 30 – propriedades de cada entidade do ERD inicial

Propriedades	Entidades				
	Pacote de Trabalho	**Causas**	**Restrições**	**Descrição Planos**	**Equipe**
Identificador Único (chave primária)	Id_PT (código sequencial)	Id_causas (código sequencial)	Id_restricao (código sequencial)	Id_plano (nome da obra, tipo e descrição do plano)	Id_equipe (código sequencial)
Descrição	texto em descrição livre	texto em descrição livre	texto em descrição livre	texto em descrição livre	Nome da equipe
Tipo				1. WW (curto prazo) 2. LH (médio prazo) 3. MP (longo prazo)	
Duração				quantidade de semanas do plano	
Início	data de início do pacote			data de início do plano	
Término	data de término do pacote			data de término do plano	
Limite de remoção			data de limite da a remoção		
Responsável			pessoa encarregada		
Status			1. Pendente 2. Removida 3. Atrasada		
FatherID		Causas_ FatherID			
Chaves estrangeiras	Id_causas; Id_restricao; Id_plano e Id_equipe				

Fonte: elaborado pela autora.

4.2.4 Tratamento das Unidades de Controle

Logo em seguida, foi realizado um tratamento dos dados para dominar as facetas definidas no modelo conceitual de definição do pacote de trabalho (seção 4.2.1). Foi isolado apenas os pacotes de trabalho das torres de das casas e atribuiu-se um código único a cada unidade para garantir a rastreabilidade dos dados. Dessa forma, realizou-se a limpeza da cadeia de caracteres das unidades de controle dos dois empreendimentos, utilizando os 33.268 registros. Esse

processo incluiu a transformação de todas as letras para minúsculas, remoção de acentos, caracteres especiais, stopwords e espaços excessivos. Termos que precisavam de duas palavras para completar o significado, como "1 pavimento", foram unificados (ex.: [1 pavimento] = 1pav, [casa 35] = casa_35, [massa corrida] = massa_corrida, etc.). O Quadro 31 mostra um exemplo do resultado após a limpeza das cadeias de caracteres.

Quadro 31 – exemplo típico da limpeza de caracteres da unidade de controle

Antes	Depois
259-257 Aço e Instalações Paredes	259-257 aco instalacao parede
259-257 Forma e Concretagem das Paredes	259-257 forma concretagem parede

Fonte: elaborado pela autora.

Em seguida, foi realizada a transposição da cadeia de caracteres das unidades de controle para linhas. Uma segunda limpeza dos dados foi realizada para excluir termos irrelevantes, tais como: comentários sobre as unidades (ex. lista de pendência), verbos sem ação ou elemento específico (ex. concluir, iniciar), informações sobre equipe ou nomes (ex. equipe 1, Lucas), quantidades de serviço (ex. duas estacas, 300 m2), percentuais de execução (ex. 100%, 75%) e propriedades de materiais (ex. metal, cerâmica). Posteriormente, os termos foram categorizados conforme indicavam processo/elemento ou local. O Quadro 32 mostra o resultado dessa transposição e classificação em grupos e termos.

Quadro 32 - transposição da cadeia de caracteres em linhas

Unidade de controle limpa	Termos	Grupo
259-257 aco instalacao parede	259-257	local
259-257 aco instalacao parede	aco	elemento
259-257 aco instalacao parede	instalacao	elemento
259-257 aco instalacao parede	parede	elemento
259-257 forma concretagem parede	259-257	local
259-257 forma concretagem parede	forma	elemento
259-257 forma concretagem parede	concretagem	elemento
259-257 forma concretagem parede	parede	elemento

Fonte: elaborado pela autora.

Após a separação em grupos, os termos foram analisados individualmente e classificados. Assim, se fez uma análise de significado e cada termos foi revisado para trazer o significado semântico, principalmente referente aos diferentes materiais e sistemas construtivos presente em cada termo. A Quadro 33 apresenta o resultado da revisão dos termos.

Quadro 33 - revisão e classificação dos termos em significado

Termos Original	Termo Revisado	Grupo	Código do termo
259-257	257-a-259	local	50H.227
aco	parede_armadura	processo/elemento	14.6
instalacao		processo/elemento	-
parede		processo/elemento	-
	parede_eletrica	processo/elemento	14.11
	parede_hidro	processo/elemento	14.14
259-257	257-a-259	local	50H.227
forma	parede_forma	processo/elemento	14.2
concretagem		processo/elemento	-
parede		processo/elemento	-
	parede_concreto	processo/elemento	14.10

Fonte: elaborado pela autora.

Estes termos foram classificados conforme os códigos da tabela 22 e 21 da OmniClass™, assim como os códigos de local, e apresentados no Quadro 34. Ao todo, foram registrados 1038 termos relacionados a processo e elemento e 2197 termos para local.

Quadro 34 - classificação dos termos em facetas

Código do termo	Termo Revisado	Classificação nas facetas (código e descrição)
50H.227	257-a-259	E22:02:00N:257-a-259 Casa 257 e 259 da quadra N da Fase 1
14.2	parede_forma	21-02.20.10.20 Exterior Wall Construction
14.6	parede_armadura	21-02.20.10.20 Exterior Wall Construction
14.10	parede_concreto	21-02.20.10.20 Exterior Wall Construction
14.11	parede_eletrica	21-04.50.20.30 Power Distribution
14.14	parede_hidro	21-04.20.10.40 Domestic Water Piping
14.2	parede_forma	22-03 11 13 Structural Cast-in-Place Concrete Forming
14.6	parede_armadura	22-03 20 00 Concrete Reinforcing
14.10	parede_concreto	22-03 30 00 Cast-in-Place Concrete
14.11	parede_eletrica	22-26 05 33 13 Conduit for Electrical Systems
14.14	parede_hidro	22-33 11 00 Water Utility Distribution Piping

Fonte: elaborado pela autora.

Finalmente, uma análise combinatória foi realizada para definir as unidades de controle representativas das descrições iniciais. Por exemplo, a *string* “259-257 Aço e Instalações Paredes” com 33 caracteres resultou em três unidades de controle distintas, como mostrado no Quadro 35. Como resultado, temos 62.914 pacotes de trabalho com terminologia estruturada.

Quadro 35 – exemplo de unidades de controle por pacote de trabalho original

Pacotes de Trabalho Original	código processo	código elemento	código local
259-257 Aço e Instalações Paredes	22-03 20 00	21-02.20.10.20	E22:02:00N:257-a-259
	22-26 05 33 13	21-04.50.20.30	E22:02:00N:257-a-259
	22-33 11 00	21-04.20.10.40	E22:02:00N:257-a-259
259-257 Forma e Concretagem das Paredes	22-03 11 13	21-02.20.10.20	E22:02:00N:257-a-259
	22-03 30 00	21-02.20.10.20	E22:02:00N:257-a-259

Fonte: elaborado pela autora.

Em relação às unidades de controle que não se conectam diretamente aos elementos do modelo BIM, exemplos dessa classificação podem ser observados na amostra do EE1, apresentada no Quadro 36. Trata-se de atividades de apoio à produção, como abastecimento e transporte de

materiais e equipamentos, que normalmente não são representadas no modelo. Neste trabalho, essas atividades são mantidas no banco de dados relacional, pois também constituem fontes relevantes de informação para o planejamento e a melhoria de projetos futuros.

Quadro 36 - classificação de unidades de controle de atividades de apoio a produção

Unidade de Controle	Faceta Processo	Faceta Elemento	Faceta Local
Abastecer alvenaria platibanda - Torre C	22-01 75 16 Startup Procedures	21-02.20.10.80 Exterior Wall Supplementary Components	E17:04:300:119
Transporte de forma para quadra C	22-01 75 16 Startup Procedures	21-02.20.10.20 Exterior Wall Construction	E22:02:00C:999

Fonte: elaborado pela autora.

4.2.5 Registro do Status das Unidade de Controle em Estrutura Relacional de Dados Unificada

A Figura 37 apresenta o diagrama relacional final, em notação ERD, aplicado ao EE1. As entidades e propriedades descritas nos Quadro 29 e Quadro 30 foram mantidas, com exceção da entidade Pacote de Trabalho, que passou por ajustes estruturais. Além disso, novas entidades foram incorporadas ao modelo, as quais estão detalhadas no Quadro 37.

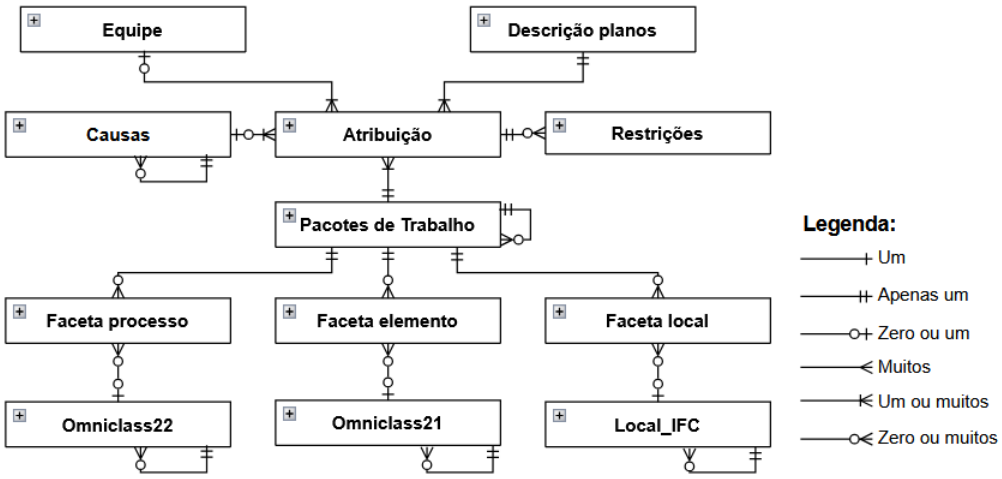
Em relação ao ERD inicial, apresentado na Figura 36, o modelo evolui com a introdução da entidade Atribuição, que permite distinguir entre o Pacote de Trabalho e sua atribuição específica aos planos, equipes, causas e restrições. Essa separação conceitual foi necessária para representar adequadamente os diferentes contextos em que um mesmo pacote pode ser associado. A entidade Atribuição funciona como elo intermediário: apenas ela se conecta a um plano, enquanto o pacote pode ter múltiplas atribuições e, consequentemente, relacionar-se a diversos planos.

O Pacote de Trabalho também passou a incorporar uma estrutura hierárquica. Essa hierarquia, sustentada pelo atributo PT_FatherID, garante coerência entre níveis agregados de pacotes — cada nó filho está vinculado a um nó pai, embora os nós terminais não possuam descendentes — assegurando assim a consistência semântica do ERD.

As facetas de processo, elemento e local foram extraídas por mineração de texto, embora sua padronização completa nas tabelas normativas tenha enfrentado limitações. Nem todos os termos identificados nas obras E17 e E22 puderam ser mapeados integralmente às classificações

da OmniClass™ ou à estrutura de locais padronizada. Ainda assim, cada faceta pôde ser associada a pelo menos um pacote de trabalho, mesmo quando a combinação completa das três facetas não estava presente. Por essa razão, o modelo relacional permite que as relações entre pacote de trabalho, facetas e normas de classificação sejam opcionais no ERD — ainda que, do ponto de vista semântico, a ausência de vínculo não seja o cenário ideal. Os efeitos dessa conformação dos dados à estrutura do ERD serão discutidos na avaliação do artefato apresentada ao final deste capítulo.

Figura 37 - ERD do EE1 final



Fonte: elaborado pela autora.

O Quadro 37 sintetiza as principais propriedades das entidades do modelo relacional final. A entidade Pacote de Trabalho mantém a chave primária composta Id_PT, agora formada pela combinação das facetas de processo, elemento e local, além do atributo PT_FatherID, que representa a hierarquia dos pacotes. A nova entidade Atribuição é identificada pela chave primária Id_atribuicao, derivada da combinação entre plano e pacote, e incorpora os atributos de início e término, bem como as chaves estrangeiras (Id_plano, Id_equipe, Id_PT e Id_causa), anteriormente pertencentes à entidade Pacote de Trabalho. As entidades Faceta Processo, Faceta Elemento e Faceta Local não possuem hierarquia própria, pois preservam a estrutura hierárquica das taxonomias OmniClass™ e IFC, referenciadas por meio das chaves estrangeiras Id_processo, Id_elemento e Id_local, respectivamente.

Quadro 37 – propriedades de cada entidade do ERD final

Propriedades	Entidades				
	Pacote de Trabalho	**Atribuição**	**Faceta processo**	**Faceta elemento**	**Faceta local**
Identificador Único (chave primária)	Id_PT (Processo + Elemento + Local)	Id_atribuição (Plano + Pacote)	Id_Fprocesso	id_Felemento	Id_Flocal
Descrição		texto em descrição livre			texto em descrição livre
Tipo				processo/elemento	local
Grupo da Faceta			Categorias agregadora da faceta	Categorias agregadora da faceta	
Início		data de início da atribuição			
Término		data de término da atribuição			
FatherID	PT_FatherID				
Chaves estrangeiras	Id_Fprocesso, Id_Felemento e Id_Flocal	Id_plano; Id_equipe, Id_PT e Id_causa	Id_processo	Id_elemento	Id_local

Fonte: elaborado pela autora.

Com essa estrutura, torna-se possível quantificar os pacotes de trabalho por status de produção, conforme apresentado na Tabela 4. Por exemplo, o status Serão corresponde aos pacotes programados no curto prazo e é obtido pela contagem dos registros na tabela Pacotes de Trabalho filtrados pelos planos classificados como de curto prazo. As demais consultas seguem a mesma lógica, permitindo identificar o número de pacotes planejados (Devem), liberados (Podem), em execução (Serão) e concluídos (Foram) no sistema relacional.

Tabela 4 – consultas dos status das unidades de controle

Status	Tabela ERD	Consultas	Número de Registros	
			E17	E22
Devem *should*	Pacote de trabalho	Contar id_WP	24.360	8.841
	Descrição planos	Filtrra por id_Planos do longo prazo	3.695	4.585
Podem *can*	Pacote de trabalho	Contar id_WP	24.360	8.841
	Descrição planos	Filtrar por id_Planos do médio prazo	10.824	0
	Restrições	Excluir id_restrições_status à ser removida	10.683	0
Serão *will*	Pacote de trabalho	Contar id_WP	24.360	8.841
	Descrição planos	Filtrar por id_Planos do curto prazo	9.841	4.256
Foram *did*	Pacote de trabalho	Contar id_WP	24.360	8.841
	Descrição planos	Filtrar por id_Planos do curto prazo	9.841	4.256
	Pacote de trabalho	Excluir id_causas preenchidas	6.831	2.313

Fonte: elaborado pela autora.

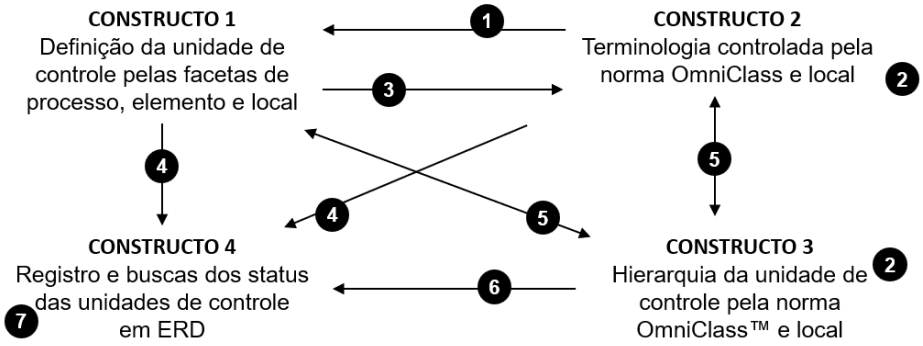
4.2.6 Considerações sobre a Aplicação dos Constructos

A aplicação dos constructos propostos para o EE1 representa um avanço conceitual e operacional em relação ao modelo anteriormente utilizado pela empresa. O sistema anterior era marcado por uma fragmentação entre ferramentas (MS Project e planilhas), ausência de padronização terminológica entre os diferentes horizontes de planejamento e hierarquias informais das unidades de controle, especialmente no curto prazo. Em contraste, o modelo desenvolvido propõe a formalização das unidades de controle por meio de uma estrutura facetada (processo, elemento, local), alinhada a normas internacionais como a OmniClass™ e ao padrão IFC para definição espacial. Essa estrutura permitiu não apenas uma descrição consistente e padronizada dos pacotes de trabalho entre as obras E17 e E22, como também viabilizou a integração entre os planos de longo, médio e curto prazo. Além disso, o uso de uma base relacional unificada pode possibilitar uma retroalimentação sistemática dos status de execução, superando a limitação da fragmentação longitudinal, entre equipes, e vertical, entre diferentes níveis de planejamento.

4.3 ARTEFATO DESENVOLVIDO NO EE1

A Figura 38 apresenta a aplicação dos quatro constructos propostos neste trabalho ao EE1, com base nos dados das obras E17 e E22. Esses constructos foram operacionalizados para superar as limitações identificadas nos sistemas anteriores de PCP.

Figura 38 – modelo relacional dos constructos no EE1



Fonte: elaborado pela autora.

O Constructo 1 foi aplicado para estruturar semanticamente os pacotes de trabalho com base nas facetas de processo, elemento e local, assegurando granularidade e consistência entre níveis de planejamento. O Constructo 2 utilizou a terminologia das normas OmniClass™ (para processo e elemento) e padrão IFC (para local), promovendo padronização entre diferentes obras. O Constructo 3 adaptou as hierarquias dessas mesmas normas para representar a estrutura de produção em diferentes níveis de agregação. Por fim, o Constructo 4 foi implementado por meio de uma base de dados relacional, permitindo o registro estruturado e a consulta dos status das unidades de controle com base nas facetas modeladas.

Cada conexão numerada na Figura 38 representa pontos de avanço conceitual entre o modelo anterior aplicado pela empresa e o proposto nestes trabalho para as obras E17 e E22, consolidando os efeitos da aplicação dos constructos e apresentadas de forma resumida no Quadro 38. A primeira relação, que é o uso de uma terminologia controlada (C2) na definição das facetas das unidades de controle (C1), aborda a superação da falta de vocabulário comum entre os níveis de planejamento. Antes, descrições como “reboco torre A” no curto prazo não se conectavam semanticamente ao “Massa Única Externa Torre G1 A” do longo prazo. Com a adoção das normas OmniClass™ e padrão IFC, um mesmo pacote é reconhecido em diferentes horizontes, garantindo maior coerência na definição das unidades de controle.

A segunda relação evidencia a substituição dos vocabulários informais por uma linguagem padronizada (C2), orientada por normas internacionais, o que fortalece a consistência organizacional e possibilita a criação de bancos de dados reutilizáveis entre diferentes obras. Já a terceira relação, ao demonstrar a dependência das facetas (C1) em relação a uma terminologia controlada (C2), indica que as unidades de controle passam a ser estruturadas e codificadas de forma sistemática, promovendo transparência nas metas de produção e estabelecendo uma linguagem comum entre equipes, empreendimentos e níveis de planejamento.

A quarta relação, que é as consultas estruturadas no ERD (C4) a partir da estruturação facetada em conjunto a terminologia controlada (C1), possibilita rastrear e consultar os dados por qualquer dimensão e status de produção — como hidráulica por pavimento ou fachadas por torre —, ampliando a visibilidade do fluxo de produção. Já a quinta destaca a simbiose entre terminologia controlada (C2) para a descrição das facetas da unidade de controle (C1) e hierarquia nas normas adotadas (C3). Esta relação indica que, embora a hierarquia da OmniClass™ e padrão IFC ofereça uma base consistente para organizar as facetas de processo, elemento e local, ela não é suficiente para representar integralmente as metas de produção nos diferentes horizontes de planejamento. A definição das unidades de controle requer certo grau de flexibilidade, permitindo ajustar a granularidade conforme a estratégia de programação e execução da obra.

A sexta relação, referente à estruturação hierarquizada das unidades de controle (C3) para consultas no ERD (C4), demonstra que uma hierarquia padronizada possibilita escalar e organizar o banco de dados relacional, agregando status de produção por nível e favorecendo processos de retroalimentação e consolidação das informações.

Por fim, o modelo, além de conectar os constructos, permite a automatização das análises de PCP por meio de *dashboard*, filtros e inferências, conforme demonstrado na oitava relação (C4). A estrutura semântica das unidades de controle torna-se o elemento central dessa transformação, convertendo dados operacionais em informações organizadas e passíveis de interpretação automática. Essa abordagem favorece um planejamento mais responsivo e orientado por dados, ampliando o potencial de monitoramento e decisão.

Quadro 38 – descrição das relações entre constructos no EE1

Relação	Constructos relacionados	Consequência
1	Uso de uma terminologia controlada (C2) na definição das facetas das unidades de controle (C1)	Permite a conexão semântica entre pacotes de trabalho em diferentes níveis.
2	Substituição de vocabulários informais por uma linguagem padronizada via normas internacionais (C2)	Facilita a criação de banco de dados únicos entre diferentes obras, fortalecendo a consistência organizacional
3	Dependência da criação das facetas (C1) em relação a uma terminologia controlada (C2)	Promove transparência nas metas de produção e estabelece uma linguagem comum entre equipes, empreendimentos e níveis de planejamento
4	Consultas estruturadas no ERD (C4) a partir da estruturação facetada em conjunto a terminologia controlada (C2)	Promove a consulta os dados por qualquer dimensão e status de produção
5	Simbiose entre terminologia (C2) das facetas das unidades de controle (C1) e hierarquia (C3) nas normas adotadas	Mostra que a hierarquia normativa das normas OmniClass™ e IFC organiza as facetas de forma consistente, mas nem sempre representa com precisão as metas de produção. A definição das unidades de controle deve manter flexibilidade para ajustar níveis de agregação conforme o planejamento.
6	Estruturação hierarquizada (C3) das unidades de controle para consultas no ERD (C4)	Promove escalabilidade na criação e estruturar o banco de dados relacional.
7	Automatização de análises dos dados de LPS (C4)	As relações semânticas entre os dados estruturados, permite um planejamento e controle orientado a dados, ampliando a capacidade de tomada de decisão.

Fonte: elaborado pela empresa.

4.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO NO EE1

4.4.1 Quanto a definição da UC em facetas

A avaliação da completude do Constructo 1 — que define o pacote de trabalho como a combinação entre processo, elemento e local — apresentou resultados elevados nos dois estudos de caso. A Tabela 5 sintetiza esses resultados. Valores inferiores a 100% decorrem de termos inexistentes em alguma faceta, descrições imprecisas ou semanticamente insuficientes para interpretação e classificação consistente. Os principais problemas identificados foram:

a) termos explicativos de local sem valor semântico para classificação (ex.: “ao lado”, “banheiro”);
b) descrições incompletas para classificação por processo ou elemento;

c) termos ambíguos, como “interna” ou “esgoto”;
d) ausência de indicação de local em 35 pacotes; e
e) falta de processo ou elemento em seis pacotes.

Tabela 5 - percentual de PT com a combinação de processo, elemento e local

	Longo Prazo	**Médio Prazo**	**Curto Prazo**	**Total**
E17	98,18%	98,81%	94,97%	96,99%
E22	99,61%	-	92,07%	95,35%
			Total	96,45%

Fonte: elaborado pela autora.

Mesmo com essas limitações, a estrutura facetada apresentou cobertura de 96,99% na obra E17 e 95,35% na E22. Observou-se uma redução no curto prazo — 94,97% em E17 e 92,07% em E22 — refletindo maior variação na forma de definição das unidades de controle nesse horizonte. Enquanto os pacotes de longo e médio prazo tendiam a apresentar descrições mais padronizadas, apoiadas em terminologia consolidada em projetos anteriores, os pacotes de curto prazo eram formulados diretamente pelas equipes das obras, resultando em maior heterogeneidade terminológica.

Em síntese, todos os pacotes de trabalho podem ser expressos pela combinação entre ação, elemento e local; entretanto, os dados do EE1 apresentavam baixa qualidade e ausência de padronização terminológica, o que explica as pequenas variações de cobertura observadas.

4.4.2 Quanto a Terminologia Controlada para cada Faceta

Quanto à avaliação da completude do Constructo 2, buscou-se verificar se a terminologia controlada é suficiente para descrever as facetas dos pacotes de trabalho. Dois parâmetros de avaliação foram utilizados: (i) a precisão, medida pela razão entre o número de classes da terminologia com termos classificados e o número total de termos; e (ii) o impacto, que mede a razão entre o número de pacotes de trabalho classificados pelo número de termo, ou seja, avalia o quanto um termo controlado se repete na base de dados. Os resultados (Tabela 6) revelam baixa precisão para os termos classificados segundo as tabelas 21 e 22 da OmniClass™, especialmente em E17, obra com processos mais tradicionais.

Tabela 6 - avaliação de terminologia controlada pela precisão e impacto

	Parâmetro de avaliação	E17	E22	Total
1	número total de classes da OmniClass™ 22 [Omniclass22]	6.734	6.734	6.734
2	número de termos para processo [Faceta processo]	912	180	1.038
3	número de classes da OmniClass™ 22 com termos classificados [Omniclass22 U Faceta processo]	118	43	130
4	número de WP com classes da OmniClass™ 22 [Pacotes de Trabalho U Omniclass23]	35.204	15.706	50.910
5	Precisão OmniClass™ 22 = (3) / (2)	0,129	0,239	0,125
7	Impacto OmniClass™ 22 = (4) / (2)	38,601	87,256	49,046
8	número total de classes da OmniClass™ 21 [Omniclass21]	648	648	648
9	número de termos para elemento [Faceta elemento]	880	148	1.038
10	número de classes da OmniClass™ 21 com termos classificados [Omniclass21 U Faceta elemento]	87	30	98
11	número de WP com classes da OmniClass™ 21 [Pacotes de Trabalho U Omniclass21]	35.204	15.706	50.910
12	Precisão OmniClass™ 21 = (10) / (9)	0,099	0,203	0,094
14	Impacto OmniClass™ 21 = (11) / (9)	40,005	106,122	49,046
15	número total de classes de local [Local]	2.173	558	2.731
16	número de termos para local [Faceta local]	1.682	288	1.970
17	número de classes de local com termos classificados [Local U Faceta local]	1.013	255	1.268
18	número de WP com classes de Local [Pacotes de Trabalho U Local]	34.579	16.314	50.893
19	Precisão Local = (17) / (16)	0,602	0,885	0,644
21	Impacto Local = (18) / (16)	20,558	56,646	25,834

Fonte: elaborado pela autora.

As principais causas foram a presença de (a) subtipos ou etapas em uma mesma categoria (tipo de), como interna e externa, ou radier e parede; e (b) diferentes etapas de um mesmo processo em uma mesma categoria (partes de), como sub-etapas, reparo e teste. Em contraste, a terminologia de local apresentou precisão mais elevadas, atribuídas ao fato de ter sido

construída especificamente para os empreendimentos analisados, mesmo com a estrutura IFC como base, refletindo de forma mais aderente a organização espacial das obras.

Diante dos resultados obtidos, observa-se que a aplicação do Constructo 2 cumpriu parcialmente seu papel ao promover uma linguagem comum entre pacotes de trabalho de diferentes níveis e obras. A padronização por meio das normas OmniClass™ mostrou-se relevante conceitualmente, mas limitada na prática. A baixa precisão indica que essas normas ainda não estão plenamente adaptadas ao contexto de empreendimentos residenciais brasileiros, especialmente quando se busca descrever subetapas construtivas. Isso é agravado pela variação terminológica adotada nas obras analisadas, revelando que a aderência ao vocabulário normativo requer curadoria e adaptação.

A maior precisão da tabela de locais, construída especificamente para os empreendimentos E17 e E22, reforça a hipótese de que estruturas desenvolvidas com base no contexto real das obras tendem a ser mais eficazes. Este resultado sugere que, embora o uso de normas internacionais seja essencial para viabilizar a interoperabilidade e a consolidação de dados em sistemas mais amplos, seu emprego deve ser acompanhado de uma camada de adaptação local ou regional, pelo menos enquanto não houver uma cobertura mais completa dos sistemas construtivos nacionais nas referidas normas.

Por fim, destaca-se que o avanço na qualidade da padronização terminológica tem impacto direto na escalabilidade do modelo, na integração de dados entre projetos e no potencial de retroalimentação do planejamento. Portanto, a avaliação do Constructo 2 evidencia que, embora o conceito seja válido e desejável, sua implementação requer uma abordagem incremental, baseada em validação empírica e ajustes contínuos para garantir aderência aos processos reais da produção civil.

4.4.3 Quanto a Hierarquia das UC pelas Normas Padronizadas

A avaliação do Constructo 3 indicou que a aplicação direta das hierarquias normativas da OmniClass™ e IFC, embora tecnicamente consistente, não foi suficiente para representar a lógica de produção das obras residenciais analisadas. A estrutura tipológica dos empreendimentos demanda maior flexibilidade na definição de metas de produção em diferentes níveis de agregação. As unidades de controle precisam refletir agrupamentos operacionais que nem sempre coincidem com a taxonomia das normas.

Os achados sugerem a necessidade de articular duas hierarquias complementares: a hierarquia no âmbito da organização, normatizada, que estrutura semanticamente os dados a regras da indústria promovendo a interoperabilidade; e a hierarquia do projeto, emergente da estratégia produtiva específica de cada obra. O artefato desenvolvido nesta pesquisa deve viabiliza essa convivência, permitindo associar pacotes de trabalho a metas de produção com base tanto em padrões normativos quanto em critérios operacionais.

O Quadro 39 propõem esta representação simultânea dessas duas hierarquias, a partir do ERD apresentado na Figura 37. A hierarquia no âmbito da organização pode ser implementada pelas tabelas Omniclass22, Omniclass21 e Local_IFC, enquanto a hierarquia do projeto é formalizada pelo atributo PT_FatherID na tabela Pacotes de Trabalho, possibilitando o agrupamento tático das metas de produção (ex.: por grupo de serviços, trecho ou frente de trabalho). A tabela Atribuição atua como elo entre essa estrutura e os dados operacionais, conectando pacotes aos planos, equipes, causas e restrições. Esse modelo relacional permite representar, de forma simultânea, diferentes camadas de controle, conciliando padronização e flexibilidade. Assim, promove a interoperabilidade entre obras e apoia o planejamento responsivo. Essa proposta de hierarquia híbrida será aprofundada em estudos subsequentes desta tese, com foco em consolidar estruturas de dados padronizadas e felexíveis à prática e ao aprendizado organizacional.

Quadro 39 – proposição de hierarquia no âmbito da organização e de projeto

Hierarquia	Representada por	Objetivo
Organização	Facetas + normas OmniClass™ / IFC	Padronização, interoperabilidade e rastreabilidade entre obras
Projeto	Hierarquia dos pacotes (PT_FatherID) + Atribuição	Planejamento tático e metas de produção por frente, trecho ou grupo de atividades

Fonte: elaborado pela autora.

4.4.4 Quanto ao Registro dos Status das UC

A utilização do Constructo 4 no EE1 indica que o modelo relacional proposto é capaz de estruturar o registro e a consulta dos pacotes de trabalho com base nas facetas de processo, elemento e local. Essa estrutura permite, conceitualmente, a realização de buscas combinadas por qualquer dimensão e status de produção — como todas as instalações hidráulicas em um pavimento ou panos de fachada por torre — ampliando a visibilidade do fluxo produtivo e

favorecendo análises operacionais. Embora tais funcionalidades não tenham sido plenamente aplicadas no EE1, serão aprofundadas nos capítulos seguintes, especialmente quanto ao potencial da relação 4, que destaca a importância da combinação entre estrutura facetada (C1) e terminologia controlada (C2) para garantir rastreabilidade entre níveis de planejamento (C4).

Do mesmo modo, a oitava relação, que propõe a utilização do modelo como base para automação por *dashboard*, filtros e regras de inferência, será explorada em estudos posteriores desta tese. Ainda que essa aplicação não tenha sido implementada no estudo de caso, os dados estruturados evidenciam viabilidade para alimentar sistemas de BI e apoiar decisões em tempo real. Assim, o artefato desenvolvido oferece uma base conceitualmente robusta para a evolução dos sistemas de controle da produção, unificando granularidade, escalabilidade e inteligência analítica em um ambiente de dados integrado.

5 ESTRUTURAÇÃO DA APRENDIZAGEM

5.1 DIAGNÓSTICO E PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO

Esta seção apresenta o diagnóstico realizado na empresa antes das intervenções, abordando seis aspectos relacionados à futura implementação do sistema de informações com base nos constructos propostos. O diagnóstico teve como objetivo avaliar o contexto organizacional e identificar como suas condições poderiam orientar a implantação do sistema. Foram levantadas as principais dificuldades no planejamento e controle das obras, mapeado o sistema de gestão e analisadas oportunidades de melhoria nas rotinas de PCP. Também se avaliou a aplicação das práticas de PCP, a ferramenta de programação em uso e a simulação da linha de balanço, além da análise de desvios em obras anteriores para verificar a efetividade do sistema atual.

5.1.1 Dificuldades Relatadas nas Entrevistas e como serão Tratadas na Implementação

Durante as entrevistas realizadas com os profissionais da empresa, foram relatadas 37 dificuldades enfrentadas na gestão das obras. Essas dificuldades foram agrupadas segundo seu potencial de tratamento dentro da estrutura do PCP, considerando as rotinas existentes e os níveis de decisão organizacional. O objetivo dessa análise foi compreender como as condições atuais de planejamento e controle podem afetar a futura implementação do sistema de informações e quais ajustes são necessários para garantir sua aderência à realidade operacional da empresa.

Do total de relatos, 86,4% (32 dificuldades) foram classificadas como passíveis de tratamento por meio das rotinas mensais e semanais do PCP, abrangendo principalmente falhas de comunicação entre setores, ausência de controle sobre prazos de entrega de projetos e materiais, falta de detalhamento ou versionamento de projetos e dificuldades de coordenação de atividades em campo. Outros 10,8% (4 dificuldades) indicam a necessidade de revisão da estratégia de produção de longo prazo, especialmente quanto ao ritmo de execução das atividades e ao desbalanceamento de frentes de trabalho. Por fim, 2,7% (1 dificuldade) sinaliza a necessidade de mudança nos processos de planejamento, especificamente quanto à priorização de serviços terceirizados no cronograma.

Além disso, 29 relatos adicionais foram considerados fora do escopo direto do PCP, relacionados a fatores organizacionais e de gestão de pessoas, os quais não foram tratados durante a realização deste trabalho. A síntese das principais dificuldades e suas implicações para a implementação do sistema de informações é apresentada no Quadro 40.

Quadro 40 – dificuldades relatadas nas entrevistas e implicações para a implementação do sistema de informações

Categoria de dificuldade	Principais relatos	Impacto sobre a implementação	Estratégia de tratamento proposta
Comunicação e integração entre setores	Falhas de comunicação entre obra, suprimentos e projetos; ausência de definição clara de responsáveis	Exige padronização dos canais de comunicação e definição de campos obrigatórios para atualização de status no sistema	Implementação de rotina de médio prazo com participação dos setores conforme demandas interdependentes
Projetos e versionamento	Falta de detalhamento e compatibilização de projetos; reaprovação constante; falhas de controle de versão	Compromete a rastreabilidade e a confiabilidade das informações	Confirmação dos status de projeto e controle de versionamento conforme as rotinas de médio prazo
Materiais e suprimentos	Atrasos de fornecedores, ausência de controle de prazos, problemas de abastecimento e logística	Reduz previsibilidade e impacta o curto prazo	Confirmação dos status de compra e contratação nas rotinas de médio prazo; acompanhamento das etapas do processo por meio de restrições e reuniões semanais integradas entre suprimentos e obras
Mão de obra e execução	Falta de qualificação, absenteísmo e descomprometimento	Limita o cumprimento dos planos e o uso efetivo dos indicadores	Participação ativa nas reuniões de médio e curto prazo, reforçando metas e engajando fornecedores e equipes
Planejamento de longo prazo	Ritmo de atividades definido por empreiteiros; desbalanceamento entre frentes de trabalho	Gera variações de produção e dificulta o uso de indicadores táticos	Revisão do plano de longo prazo com base nos ritmos de produção e no balanceamento das frentes de trabalho
Critérios de priorização	Serviços terceirizados sem peso na curva S tornam-se não prioritários	Leva à perda de controle sobre atividades e riscos de atraso	Revisão das curvas S das obras, garantindo a ponderação de todos os serviços conforme sua relevância para o fluxo de produção
Problemas fora do escopo do PCP	Situações sem correlação direta com as rotinas de planejamento (29 relatos)	Demandam ações estruturais e de gestão de pessoas fora do escopo do sistema	Encaminhamento à diretoria para tratamento estratégico e integração futura

Fonte: elaborada pela autora

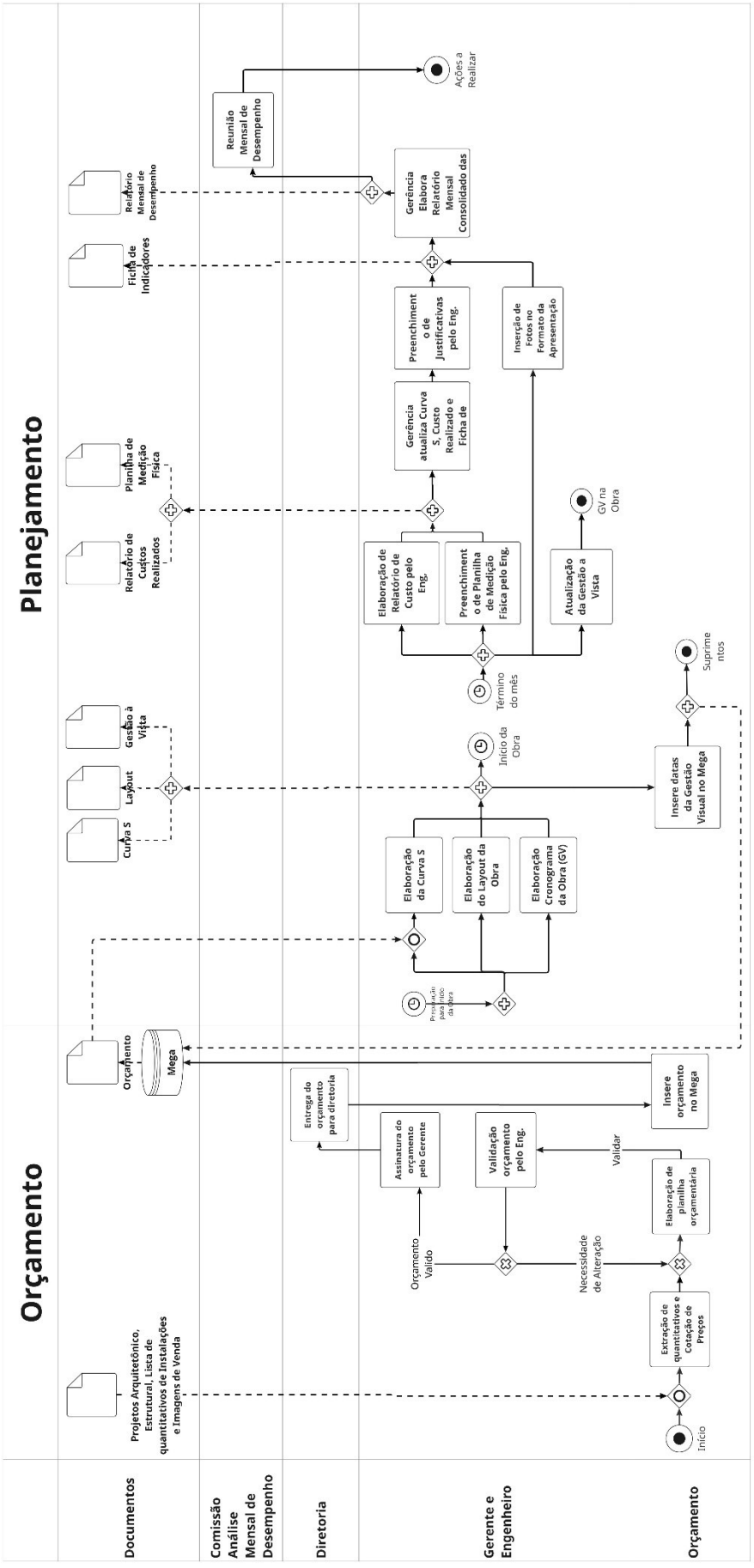
A sistematização das dificuldades relatadas permitiu identificar não apenas os pontos críticos das rotinas atuais, mas também os ajustes necessários para que a implementação do sistema de informações reflita as condições reais de operação da empresa. Ao relacionar cada dificuldade às rotinas e níveis decisórios correspondentes, tornou-se possível definir mecanismos de tratamento compatíveis com a maturidade organizacional e a dinâmica das obras, garantindo que o modelo proposto seja implementado de forma progressiva e contextualizada.

5.1.2 Mapa do Estado Atual

A partir das entrevistas e da análise de documentos da empresa, foi elaborado um mapa do estado atual dos sistemas de gestão de planejamento e custos com a metodologia BPMN. A Figura 39 apresenta o diagrama, cujas raias horizontais representam áreas da empresa (como diretoria, gerência, equipe técnica e orçamento) e os fluxos de documentos. As divisões verticais se referem aos sistemas de gestão utilizados: orçamento e planejamento.

A análise desse mapeamento, complementada pelas entrevistas, revelou quatro pontos principais. Primeiramente, não há integração formal entre os documentos dos setores, o que gera retrabalho na coleta e uso das informações. Além disso, os sistemas usam unidades de controle em diferentes níveis de detalhe — como tarefas no orçamento e pavimentos no planejamento — o que dificulta a consolidação. Argumenta-se que um modelo hierarquizado pode integrar esses dados mantendo a lógica de agrupamento de cada setor. Em segundo lugar, a reunião mensal de desempenho não gera planos de ação articulados com os setores responsáveis, e as decisões não retroalimentam os sistemas. Foi sugerido que essa lacuna seja suprida por planos de ação formais, com responsáveis, prazos e tarefas definidas, como à lista de restrições do planejamento médio prazo.

Em terceiro lugar, ferramentas como a Curva S, relatórios de custo e medições são usadas de forma isolada, e não integram os dados das empresas terceirizadas. Isso compromete a representação da produção real e gera retrabalho na análise, já que apenas a mão de obra própria era monitorada. Por fim, não foram identificados ciclos de controle mensais ou semanais. A gestão se restringe ao nível de longo prazo, dificultando a identificação com antecedência de problemas e ações corretivas. A adoção de ciclos mais curtos é recomendada para tornar o controle mais responsivo e baseado em dados.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 39 - mapa do estado atual do planejamento e controle da produção na empresa

5.1.3 Avaliação das Práticas de PCP Aplicadas

A avaliação das práticas de PCP foi conduzida considerando 15 práticas descritas na Tabela 7, com o objetivo de avaliar o contexto organizacional e identificar quais práticas existentes poderiam orientar a adequação do sistema de informações proposto. Essa etapa buscou compreender o grau de formalização e maturidade das rotinas de planejamento e controle, permitindo identificar onde o sistema deve ser ajustado para refletir as condições reais de operação da empresa. Assim, a análise não teve por finalidade aplicar integralmente o LPS, mas utilizar suas práticas como referência para reconhecer lacunas, potencialidades e oportunidades de integração entre os níveis de planejamento.

Tabela 7 - avaliação do PCP no diagnóstico

Etapa do LPS	Descrição	Avaliação	
Padronização PCP	Formalização do processo de Planejamento e Controle da Produção	0%	**67%**
	Utilização de dispositivos visuais para disseminar as informações no canteiro	100%	
	Análise crítica do conjunto de dados	100%	
Longo Prazo	Elaboração de um plano de longo prazo transparente	50%	**84%**
	Atualização sistemática do plano mestre para refletir o andamento da obra	50%	
	Utilização de indicadores para avaliar o cumprimento de prazo da obra	100%	
Médio Prazo	Padronização (rotinização) do planejamento de médio prazo	0%	**34%**
	Planejamento e controle dos fluxos físicos	50%	
	Remoção sistemática das restrições	0%	
Curto Prazo	Tomada de decisão participativa nas reuniões de curto prazo	0%	**9%**
	Definição correta dos pacotes de trabalho	0%	
	Inclusão no plano de curto prazo pacotes de trabalho sem restrições	0%	
	Realização de ações corretivas a partir das causas do não cumprimento dos planos	50%	
	Programação de tarefas suplentes	0%	
	Padronização (rotinização) das reuniões de curto prazo	0%	
	Total		**48,5%**

Fonte: elaborada pela autora e adaptado de Reck (2010)

A análise abrangeu seis obras visitadas, sendo consideradas quaisquer evidências de aplicação das práticas em pelo menos uma delas. Três práticas foram identificadas como implementadas: uso de dispositivos visuais para disseminação de informações no canteiro, análise crítica de dados e uso de indicadores de cumprimento de prazo. Essas práticas foram evidenciadas pela presença de cronogramas de longo prazo atualizados (Figura 40A), uso da Curva S como indicador de avanço físico e realização de reuniões mensais de desempenho.

Outras três práticas foram consideradas parcialmente implementadas: elaboração de plano de longo prazo transparente, atualização sistemática do plano mestre e realização de ações corretivas a partir das causas de desvios. Apesar da existência de cronogramas, foi observada falta de clareza na visualização dos fluxos produtivos, ausência de atualização quanto a lotes em atraso e inexistência de planos de ação formalizados. Essa constatação reforça as evidências do mapa do estado atual, que já apontava a desarticulação entre os setores na resposta aos desvios e a ausência de mecanismos táticos estruturados, como a análise sistemática de restrições e a definição de responsáveis e prazos para sua remoção.

A prática de planejamento e controle dos fluxos físicos também foi considerada parcialmente implementada. As obras apresentavam um layout geral das instalações de canteiro, porém desatualizado em relação às etapas executivas. Essa limitação compromete o controle físico da produção, em sintonia com os relatos das entrevistas sobre falta de clareza e desorganização nas frentes de serviço. Já a remoção sistemática de restrições não foi observada. Embora uma das obras apresentasse um mapa de compras com horizonte de seis meses, não havia um processo estruturado de identificação e resolução contínua.

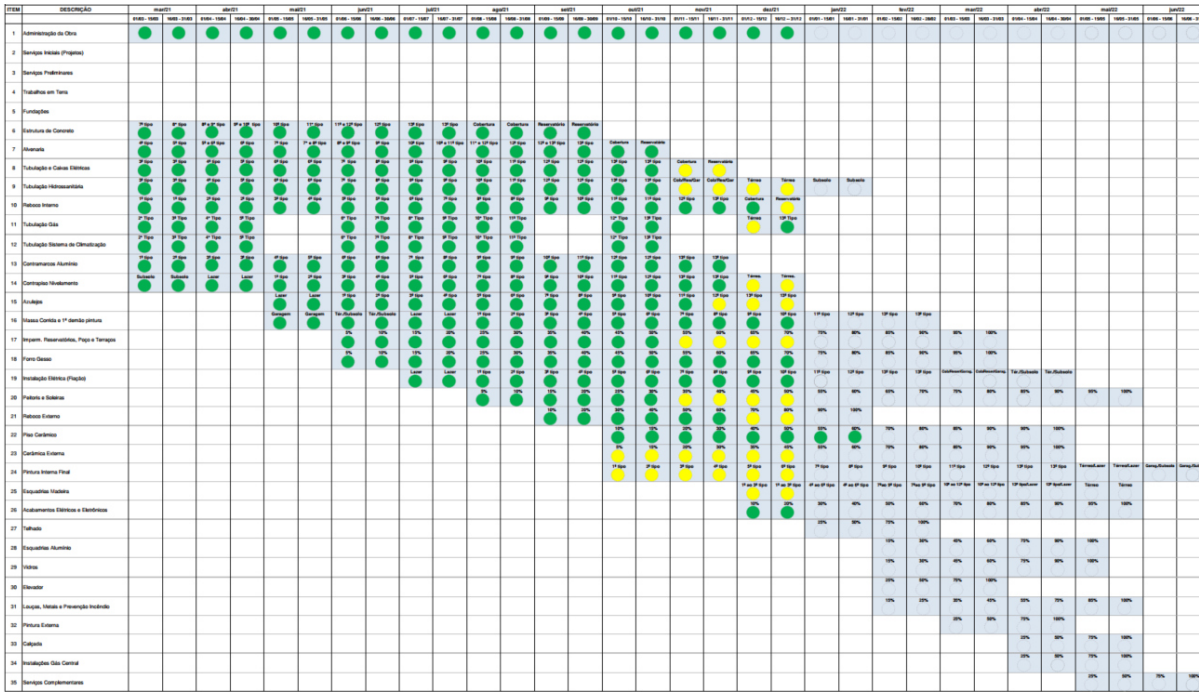
Com base nessa avaliação, o grau de implementação do PCP foi estimado em 48,5%, o que revela um estágio intermediário de maturidade e fornece subsídios diretos para a adequação do sistema de informações. As lacunas mais relevantes concentram-se na ausência de rotinas de médio e curto prazo, na gestão de restrições e na pouca transparência dos planos de longo prazo. Ao evidenciar esses pontos críticos, a avaliação permite ajustar a estrutura e o nível de automatização do sistema proposto, assegurando que sua implantação se baseie em práticas efetivamente existentes e em capacidades reais de controle da organização.

5.1.4 Análise da Ferramenta de Programação Atual e Simulação na Linha de Balanço

Com o objetivo de avaliar a adequação da ferramenta de programação de longo prazo utilizada pela empresa, foi analisado o cronograma de uma das obras incluídas no diagnóstico. A Figura

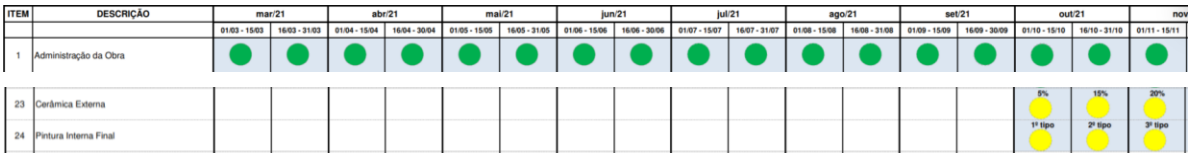
40A apresenta o modelo de cronograma visual adotado pela empresa no momento da avaliação. Nesse modelo, cada linha representa uma atividade e as colunas indicam os meses de execução; no cruzamento entre linhas e colunas, registrava-se o lote de controle correspondente, que poderia se referir a um local específico ou a um percentual da atividade (ver detalhe na Figura 40B). O cronograma era atualizado tanto em meio físico quanto digital, utilizando adesivos coloridos — verde para lotes concluídos e amarelo para os em atraso — como forma de acompanhamento visual do progresso.

Figura 40 - cronograma de longo prazo na empresa



Legenda: Amarelo – atrasado Verde - concluído

(a) cronograma pela ferramenta de programação da empresa



(b) detalhe do cronograma

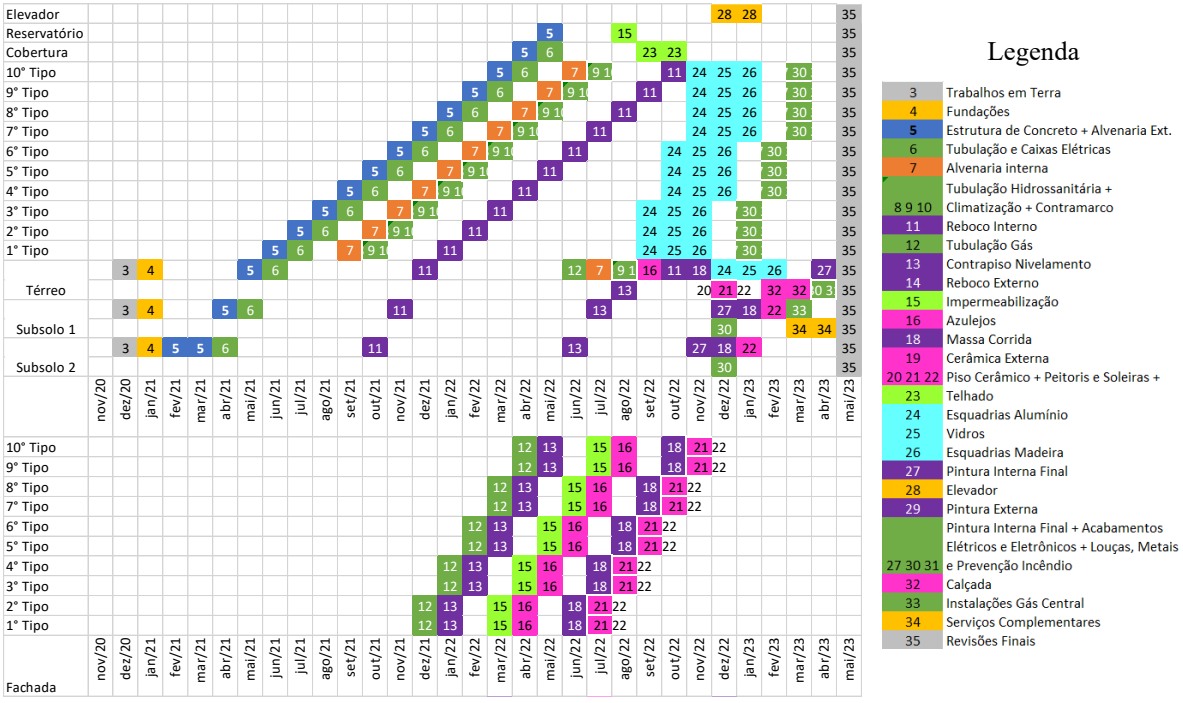
Fonte: elaborado pela empresa.

O modelo adotado apresenta características similares a ferramentas de planejamento tradicionais, sendo eficiente para acompanhamento global do avanço, mas limitado quanto à representação do fluxo produtivo e das interdependências entre equipes e locais. As atividades são listadas linearmente e controladas por percentuais de avanço, o que dificulta a visualização

da sequência física da obra, da cadência das frentes e do ritmo de produção entre pavimentos. Além disso, a atualização manual por adesivos, embora traga um elemento visual útil, não permite análises de balanceamento ou de sobreposição entre atividades, restringindo sua utilidade para a coordenação operacional.

Para aprofundar essa avaliação, elaborou-se uma simulação do cronograma da empresa na forma de Linha de Balanço, apresentada na Figura 41. A simulação teve por objetivo reorganizar as informações do cronograma de longo prazo de modo a representar graficamente o fluxo de produção, permitindo observar o comportamento real das frentes de trabalho ao longo dos pavimentos e no tempo.

Figura 41 – elaboração do longo prazo pela linha de balanço



Fonte: elaborada pela autora.

A visualização em Linha de Balanço possibilitou identificar limitações que não eram evidentes na ferramenta original. Primeiramente, observou-se o cruzamento de atividades sem respeitar restrições técnicas, como a execução de tubulação de gás, contrapiso e reboco interno antes da conclusão da alvenaria nos pavimentos 8 ao 10. Essa sobreposição evidencia falta de coordenação entre frentes de trabalho e ausência de lógica de precedência no modelo de programação.

Em segundo lugar, verificou-se um desbalanceamento entre os tempos previstos para as etapas da obra. As fases de superestrutura, alvenaria, instalações e reboco interno concentravam aproximadamente 60% do prazo total (18 meses), enquanto as etapas de acabamento ficavam restritas aos 40% restantes (12 meses). Esse descompasso comprime um grande volume de atividades no período final e pode demandar reforço de equipes para evitar atrasos — situação confirmada nas entrevistas, nas quais os profissionais relataram a necessidade de ampliação das equipes em prazos reduzidos.

Por fim, foi constatada a ausência de definição clara da unidade de controle em várias atividades, especialmente nas fachadas, onde o progresso era indicado apenas por percentuais agregados, sem distinção por torre ou pano de fachada. Essa limitação dificulta o rastreamento do progresso e a gestão visual do fluxo produtivo. Essas observações reforçam que a simulação na Linha de Balanço não apenas reorganiza os dados existentes, mas evidencia as inconsistências do modelo tradicional, ao tornar visíveis o ritmo de execução, o balanceamento entre frentes e os conflitos entre atividades. Tais limitações demonstram a necessidade de uma ferramenta que integre simultaneamente as dimensões de tempo, local e processo, promovendo maior transparência e controle sobre o fluxo produtivo. Nesse sentido, a Linha de Balanço mostrou-se mais eficaz, por permitir visualizar ritmos, balancear frentes de trabalho, identificar interferências entre atividades com maior precisão e fornecendo insumos diretos para os ciclos de médio e curto prazo.

5.1.5 Avaliação da Efetividade do Sistema Atual pela Análise de Desvios

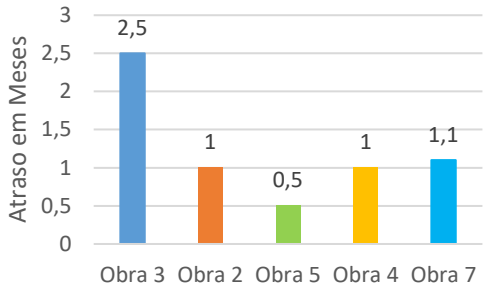
Como etapa final do diagnóstico, foi realizada a avaliação da efetividade do sistema atual de PCP, por meio da identificação e quantificação dos principais desvios observados nas obras visitadas. O objetivo desta análise não foi propor melhorias diretas ao sistema, mas avaliar sua capacidade em evitar atrasos e refletir o progresso físico das obras, a partir de evidências empíricas.

A análise combinou o acompanhamento da curva S com a contagem de lotes de produção em atraso obtida a partir dos cronogramas das obras, apresentado na Figura 42. A partir das seis obras analisadas, identificou-se um atraso médio de 1,22 meses segundo a curva S e 29,5 lotes de produção em atraso, em média, conforme os cronogramas detalhados.

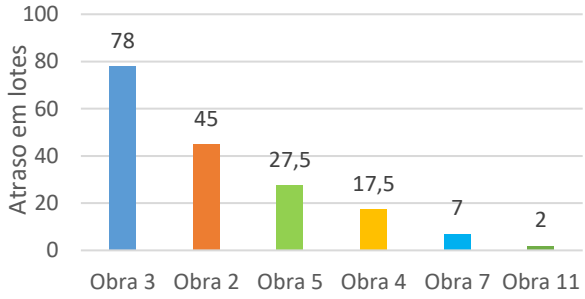
A comparação entre essas duas métricas revelou limitações importantes do sistema de controle vigente. O atraso medido pela curva S não foi proporcional ao número de lotes em atraso,

indicando baixa representatividade do indicador consolidado. Essa distorção foi reforçada pelos relatos dos entrevistados, que destacaram que diversas atividades terceirizadas — como pintura, impermeabilização e instalação de peitoris — não são contempladas na curva S, de modo que seu avanço ou atraso não impacta o percentual geral da obra. Como consequência, o sistema gera uma percepção equivocada de avanço físico, mascarando atrasos significativos em atividades críticas e comprometendo a confiabilidade do controle.

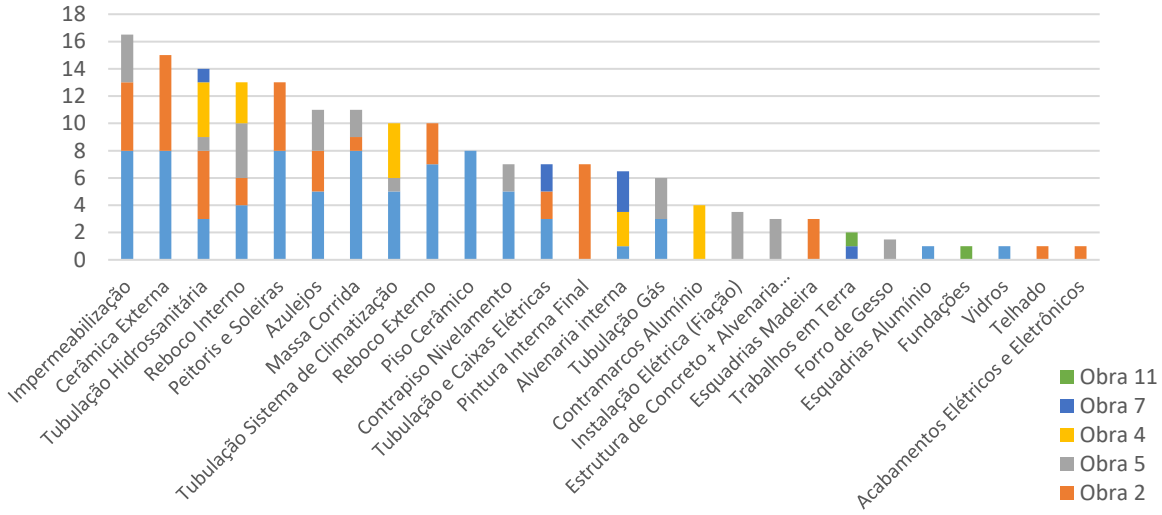
Figura 42 - análise dos desvios das obras



(a) número de meses em atraso por obra



(b) número de lotes de produção em atraso por obra



(c) número de lotes de produção em atraso por obra e atividade
Fonte: elaborada pela autora.

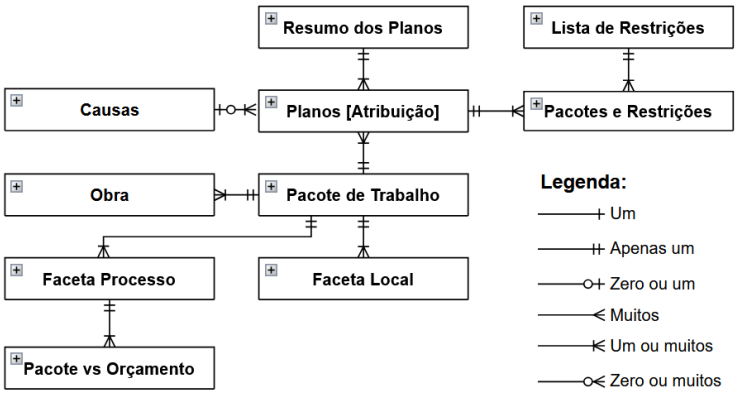
A análise dos serviços com maior número de lotes em atraso apontou impermeabilização, cerâmica externa, tubulação hidrossanitária, reboco interno e instalação de peitoris e soleiras, todos com mais de 12 lotes fora do prazo. Apesar disso, os gestores entrevistados destacaram como principal dificuldade a escassez de mão de obra para pintura, apontando a falta de profissionais qualificados. Essa discrepância entre os atrasos reais e as percepções dos engenheiros revela uma lacuna na priorização das atividades críticas e na visibilidade dos fluxos produtivos.

A partir dessas evidências, foi possível confirmar empiricamente a baixa capacidade do sistema então vigente de PCP em antecipar desvios e apoiar a tomada de decisão, o que justificou a necessidade de uma estrutura de controle mais transparente e contextualizada. Ainda que o objetivo desta etapa não tenha sido aprimorar o sistema em si, os resultados forneceram insumos para compreender como o sistema de informação simplificado, posteriormente implementado, pôde contribuir para a redução de atrasos, melhoria das práticas de PCP e aumento da produtividade das reuniões de planejamento — representando, assim, um ganho colateral decorrente do processo de diagnóstico e das etapas subsequentes de ajuste organizacional.

5.1.6 Direcionamento do Sistema Simplificado de Informação

O sistema de informação simplificado proposto foi estruturado a partir dos constructos desenvolvidos no EE1 e posteriormente contextualizado ao ambiente organizacional analisado durante o diagnóstico no EE2. Dessa forma, o ERD apresentado na Figura 43 representa uma versão contextualizada para refletir as necessidades práticas de integração entre os sistemas de orçamento e planejamento e controle da produção.

Figura 43 - ERD do EE2



Fonte: elaborado pela autora.

O ERD contextualizado ao EE2 foi simplificado, expandido e reorganizado para representar com maior precisão as entidades operacionais da empresa e suas interdependências. As principais adaptações estruturais foram:

a) redução das facetas de três para duas dimensões (processo e local), em razão da inexistência de modelos BIM nas práticas da empresa;
b) substituição a entidade de Descrição de planos por Resumo dos Planos, que permitem consolidar dados entre horizontes e associá-los diretamente às obras em andamento;

c) inclusão da entidade Pacote vs. Orçamento, criando um elo direto entre os dados de planejamento e o orçamento extraído do ERP;

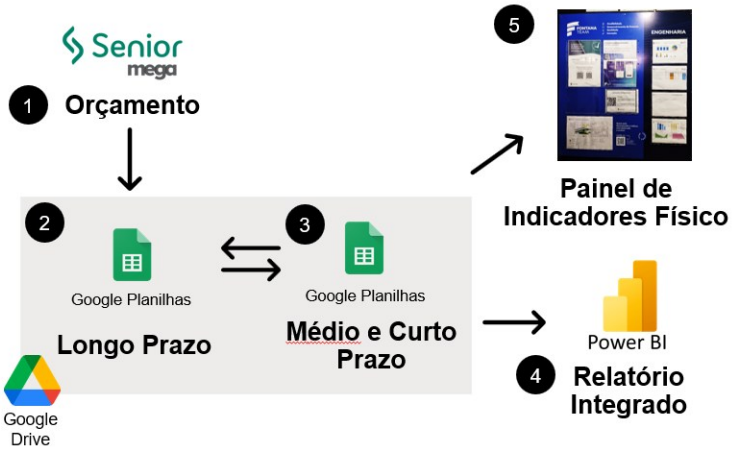
d) reestruturação da gestão de restrições, que passou de uma única entidade genérica (Restrições) para um modelo composto por Lista de Restrições e Pacotes e Restrições, permitindo registrar uma relação de muitas restrições para muitos pacotes de trabalho

e) acréscimo da entidade Obra para facilitar a identificadas das características das mesmas pela organização;

f) adaptação da entidade de Atribuição para Plano [Atribuição] já que os planos de longo, médio e curto era a forma de evidenciar as atribuições dos pacotes de trabalho.

A Figura 44 apresenta o fluxo geral de integração do sistema simplificado, evidenciando como os dados de planejamento e controle circulam entre os programas computacionais disponíveis da empresa. O processo tem início no módulo de orçamento, de onde são extraídas as informações consolidadas e incorporadas à planilha de longo prazo (2), estruturada para reunir os itens orçados (1) e o planejamento de produção. A partir desse nível, os dados são desdobrados para os planos de médio e curto prazo (3), viabilizando o acompanhamento das metas e restrições em ciclos de controle progressivamente mais curtos.

Figura 44 - estrutura de relacionamento de softwares utilizado



Fonte: elaborada pela autora.

Essa estrutura permite que novas obras sejam iniciadas a partir de modelos padronizados, assegurando uniformidade, rastreabilidade e consistência entre obras e equipes. As planilhas colaborativas (2 e 3), armazenadas em nuvem, possuem controle automático de versão e atualização em tempo real, o que reforça a transparência e a integridade das informações. A disseminação dos dados do PCP ocorre por dois canais complementares:

a) digital, por meio do relatório integrado em Power BI (4), que atualiza automaticamente os indicadores da empresa;

b) físico, por meio do painel de indicadores de obra (5), utilizado pelas equipes no canteiro para acompanhamento visual do progresso.

Com isso, o modelo do EE2 passa a representar uma evolução aplicada do artefato relacional do EE1, traduzindo a estrutura conceitual em uma configuração operacional compatível com as rotinas corporativas da empresa. O sistema de informação simplificado, além de integrar dados de diferentes origens, atua como mediador entre práticas, artefatos e decisões, reforçando a coerência entre os fluxos informacionais e as formas de coordenação no ambiente produtivo. A seguir, o Quadro 41 sintetiza o plano de implantação das ações derivadas do diagnóstico. Essas ações foram organizadas de modo a padronizar, revisar, criar, registrar e estruturar consultas de planejamento e controle, consolidando o sistema de informação como suporte à contextualização semântica e à integração entre níveis de gestão.

Quadro 41 – resumo das ações identificada no diagnóstico para a implantação do sistema simplificado

Prática	Ação
Definição correta dos pacotes de trabalho	Padronizar a definição dos pacotes com base nas facetas de processo e de local, utilizando termos controlados pela organização, a partir dos diagramas de precedência por tipologia
Elaboração de um plano de longo prazo transparente	Montar um longo prazo com ritmos balanceados e locais definidos**,** convertendo dados como processo e local em informações contextualizadas e integrando os itens de orçamento aos pacotes de trabalho
Atualização sistemática do plano mestre para refletir o andamento da obra	Criar um indicador que conecte os planos de longo, médio e curto prazo, de modo a refletir o andamento da obra de forma integrada e contínua entre níveis
Utilização de indicadores para avaliar o cumprimento de prazo da obra	Revisar a Curva S para representar o avanço real das obras, abrangendo mão de obra própria e terceirizada, e validando os resultados junto às áreas técnica e gerencial
Padronização (rotinização) do planejamento de médio e curto prazo	Registrar a programação das unidades de controle em diferentes níveis de planejamento, incluindo propriedades semânticas como status, restrições e causas de não cumprimento
Formalização do processo de Planejamento e Controle da Produção	Implantar um sistema de informação simplificado, desenvolvido a partir dos constructos propostos neste trabalho, para sustentar o registro, a integração e a consulta semântica dos dados de planejamento e controle.
Utilização de dispositivos visuais para disseminar as informações no canteiro	Criar painéis de acompanhamento físico e *dashboard* digitais baseados na semântica das unidades de controle, ampliando a transparência sobre o progresso das frentes de trabalho
Análise crítica do conjunto de dados	Aplicar filtros semânticos para apoiar a análise dos dados, permitindo identificar padrões, causas de desvios e oportunidades de melhoria de forma estruturada e contextualizada

Fonte: elaborada pela autora e adaptado de Reck (2010)

5.1.7 Direcionamento da Implantação das Práticas de LPS

O segundo direcionamento definido a partir do diagnóstico teve como objetivo principal institucionalizar as práticas do LPS no contexto organizacional analisado, garantindo que as rotinas de planejamento e controle deixassem de depender de iniciativas individuais e passassem a ser sustentadas por estruturas estáveis e compartilhadas. A proposta consistiu em criar condições para que as práticas fossem integradas de forma contínua às operações da empresa, estabelecendo um ambiente propício à aprendizagem organizacional e à estabilidade dos ciclos de controle. Esse processo de institucionalização foi orientado tanto pelos achados empíricos quanto pelos conceitos da sociomaterialidade, que permitiram compreender como a tecnologia e as práticas se configuram mutuamente durante o uso. Para orientar as ações propostas, foram mobilizados conceitos-chave da sociomaterialidade, que fundamentaram a elaboração das ações direcionadas. Elas são:

a) *inércia*, compreendida como a estabilização de práticas e estruturas por meio da repetição dos usos tecnológicos;
b) *bricolagem*, ou recombinação criativa, caracterizada pela recombinação criativa de recursos, funcionalidades e práticas para lidar com necessidades específicas;
c) *apropriação*, entendida como o processo pelo qual os usuários incorporam a tecnologia às suas práticas, atribuindo-lhe significado e integrando-a ao trabalho cotidiano;
d) *agência distribuída*, que reconhece a capacidade de ação compartilhada entre pessoas e artefatos tecnológicos;

Entretanto, nesta fase de implantação, o foco não recaiu sobre outros processos da dinâmica da sociomaterialidade. Embora essenciais em estágios mais maduros para sustentar a inovação e a adaptação contínua, o contexto analisado exigia primeiro a consolidação das práticas fundamentais do LPS, ainda pouco compreendidas e aplicadas na organização. Assim, priorizou-se o fortalecimento da da apropriação e da estabilidade das rotinas, criando condições para que o LPS se integrasse às práticas existentes antes de estimular variações criativas ou novos arranjos tecnológicos.

O Quadro 42 sintetiza esse direcionamento, correlacionando práticas do LPS, ações previstas e interpretações à luz da sociomaterialidade. As ações propostas buscaram promover a apropriação e a integração efetiva das tecnologias e ferramentas do sistema simplificado, equilibrando estabilidade operacional e flexibilidade local. Essa abordagem permitiu compreender a institucionalização não apenas como implantação de rotinas, mas como um

processo de coevolução entre tecnologia, pessoas e práticas, no qual a repetição dos usos e a aprendizagem coletiva sustentam a melhoria contínua.

Quadro 42 – resumo das ações identificada no diagnóstico quanto a institucionalização de práticas do LPS

Prática	Ação prevista após o diagnóstico	Ação proposta segundo a sociomaterialidade
Análise crítica do conjunto de dados	Evitar a percepção distorcida sobre as causas reais dos desvios	Promover a apropriação da análise crítica, tornando o ato de consultar e registrar parte da rotina de aprendizagem organizacional.
Padronização (rotinização) do planejamento de médio e curto prazo	Implantação programação de metas mensais e semanais durante as rotinas de médio e curto prazo	Sustentar a apropriação da tecnologia no uso das planilhas com facetas semânticas como base do planejamento.
		Manter o campo de descrição livre nas planilhas para permitir a recombinação criativa (bricolagem), permitindo ajustes conforme a realidade de cada obra.
Planejamento e controle dos fluxos físicos no médio prazo	Implantação do planejamento de fluxos físicos, tanto de materiais como de equipes, na programação de médio prazo	Combinar instrumentos digitais e materiais, permitindo recombinação criativa (bricolagem) entre ferramentas conforme a necessidade de visualização e decisão.
Remoção sistemática das restrições no médio prazo	Implantação da rotina e alinhamento a reunião mensal de desempenho, formalizando o plano de ação no formato de restrições	Tratar a remoção de restrições como agência distribuída, com atualização colaborativa e o sistema mediando decisões e coordenação.
Tomada de decisão participativa nas reuniões de curto prazo	Implantação a rotina de decisão compartilhada, negociação e comprometimento das metas no curto prazo	Fomentar agência distribuída: o sistema deve funcionar como espaço de visibilidade e formalização imediata dos compromissos da equipe.
Inclusão no plano de curto prazo pacotes de trabalho sem restrições	Não programar pacotes de trabalho com restrições no curto prazo	Consolidar pela inércia do uso a prática de incluir apenas pacotes liberados, reforçando a estabilidade operacional.
Realização de ações corretivas a partir das causas do não cumprimento dos planos no curto prazo	Implantação da rotina de plano de ação para problemas evidenciados no campo	Estimular inércia do uso do registro e resolução contínua das causas, consolidando o hábito de análise e resposta sistemática.
Programação de tarefas suplentes no curto prazo	Implantar planos de contingências na rotina de curto prazo	Consolidar, pela inércia do uso, a programação antecipada de planos de contingência, garantindo previsibilidade e resposta rápida.

Fonte: elaborada pela autora e adaptado de Reck (2010)

5.2 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO

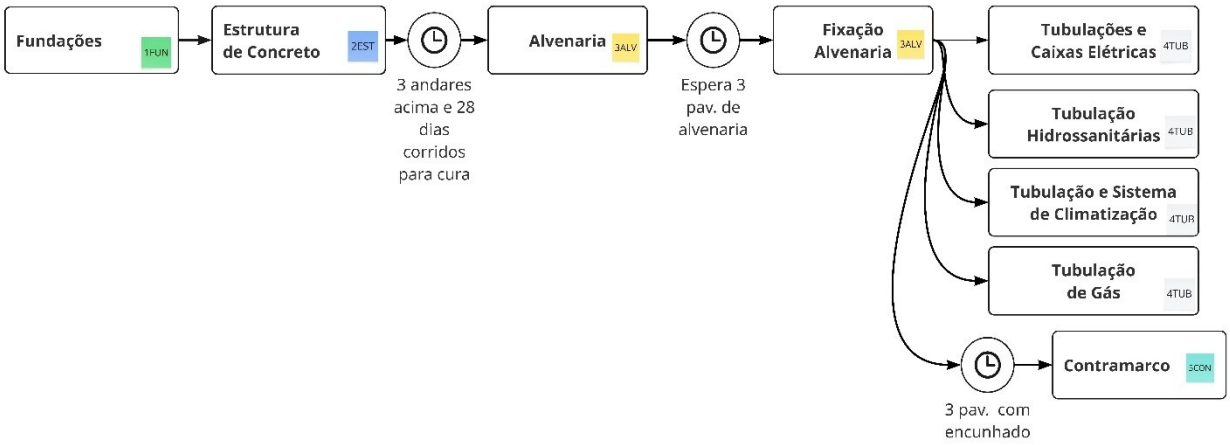
Esta sessão tem o objetivo de apresentar a forma como o sistema de informação simplificado foi implementado na organização, conforme os direcionamentos descritos na seção 5.1.6 Direcionamento do Sistema Simplificado de Informação.

5.2.1 Definição das Facetas para as Unidade de Controle

5.2.1.1 Faceta de Processo

No contexto da empresa já se utilizava uma padronização de atividades parcialmente controladas através do cronograma de longo prazo da obra, apresentado durante o diagnóstico (Figura 40). Entretanto, essa padronização não havia sido formalizada em nível organizacional, sendo definida de forma individual por cada equipe de obra. Como resultado, o conteúdo de trabalho associado a cada atividade podia variar entre projetos, tanto em escopo quanto em sequência de execução, o que dificultava o compartilhamento de informações e a comparação entre obras. Diante dessa limitação, foram elaborados diagramas de precedência por tipologia construtiva, conforme o exemplo apresentado na Figura 45.

Figura 45 – trecho do diagrama de predecessoras



Fonte: elaborada pela autora.

O diagrama de precedência formaliza a sequência padrão, o escopo de cada pacote de trabalho e um dicionário controlado de termos para definir os processos. Esta ferramenta consolida o que foi discutido na avaliação do artefato do EE1, no qual se levantou a necessidade de uso de dicionários contextuais e diretrizes para mapeamento semântico de cada faceta. Cada caixa retangular representa um processo e os códigos desta faceta são apresentados na base do lado direito. Ao total foram mapeadas 3 tipologias para a organização: torre média/alta renda, infraestrutura de loteamento e condomínio de torres.

Ao final, 62 termos padronizados entre as 3 tipologias foram definidos e apresentado no Anexo D, parte destes são apresentado no Quadro 43. Para cada termo, foi estabelecido um código com um número e 3 a 5 letras representativas do processo. Alguns destes termos apresentavam, naturalmente, uma hierarquia (3ALV e 4TUB), entretanto esta estruturação não foi explorada na implementação do sistema de informações para facilitar o uso da classificação dos pacotes no longo, médio e curto prazo pelos usuários. No capítulo seguinte, este tema da hierarquia será melhor explorado na aplicação a nível de projeto.

Quadro 43 – trecho dos códigos padronizados para a faceta de processo

Código – Processo		**Descrição Processo**
1FUN	1FUN	Fundações
2EST	2EST	Estrutura de Concreto
3ALV	3ALV	Alvenaria
	3ENC	Fixação de Alvenaria
4TUB	4TUB	Tubulações
	4ELE	Tubulações Elétricas
	4HID	Tubulações Hidrossanitárias
	4CLI	Climatização
	4GAS	Gás
5CON	5CON	Contramarco de Alumínio

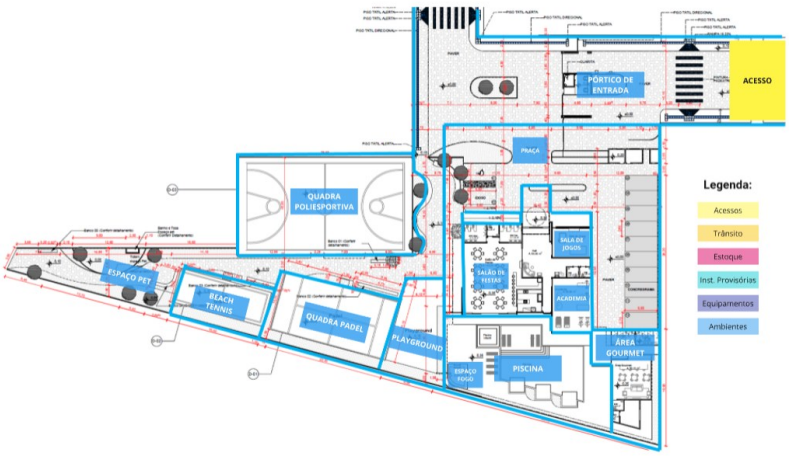
Fonte: elaborada pela autora.

5.2.1.2 Faceta de Local

Assim como para o processo, na padronização de locais já se empregava uma terminologia parcialmente controladas em nível de pavimento. Entretanto a divisão desses pavimentos em trechos não era utilizada pela organização. Dessa forma, para tipologias construtivas como infraestrutura de loteamento foi proposta um zoneamento conforme a Figura 46. A sua definição era realizada em planta baixo, definido os limites entre zonas e nomeando cada zona. Dessa forma, mesmo que possa existir certa semelhança entre obras de mesma tipologia, os termos de locais são definidos para a especificidade de cada empreendimento. A tipologia de condomínio de torres, nada mais é uma combinação da segmentação a nível de pavimentos (torre média/alta renda) e segmentação de infraestrutura de loteamento. Os termos de local foram formalizados

com código único de 2 a 5 letras representativas do local um código. Ao final, cada projeto tem um número único de termos padronizados, conforme apresentado nos exemplos da Figura 47.

Figura 46 - segmentação dos locais para infraestrutura de loteamento



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 47 - códigos padronizados por projeto para a faceta de local

(a) obra 4 – tipologia torre média/alta renda

Código de Local	Descrição Local
OBRA_4	Toda Obra
MUR	Muros
FG1	Garagens 01 - (Vicente de Paula)
F01	Fachada 01 - (Vicente de Paula)
F02	Fachada 02 - (Joaquim Nabuco)
ELE	Elevadores
ESC	Escada
RES	Reservatório
COB	Cob. 10º Tipo
10T	10º Tipo
1T	1º Tipo
TER	Térreo
SS1	Subsolo 01

(b) obra 13 – tipologia infraestrutura de loteamento

Código de Local	Descrição Local
OBRA_13	Toda Obra
PED	Pórtico Entrada
PRC	Praça
PLY	Playground
SFJA	Salão de Festas / Jogos / Academia
PSC	Piscina
AGM	Área Gourmet
MUR1	Muro Área Comum
MUR2	Muro Perímetro

Fonte: elaborada pela autora.

5.2.2 Definição das Estrutura de Códigos Padrão para PT, Causas e Restrições

A partir da determinação das facetas para processo e local, foi possível formalizar a estrutura de códigos dos pacotes de trabalho de acordo com seus níveis hierárquicos, assim como as restrições e causas de não cumprimento dos planos. Esta formalização é apresentada na Figura 48, na qual existe uma diferenciação entre informações padronizadas pela organização e específicas de cada projeto e plano. Processo, obra e letras indicativas de restrições (com a letra R) e causas de não cumprimento dos planos (com a letra C) são padronizadas a nível de organização. Assim, em qualquer projeto da organização esses termos do código do pacote de trabalho representam o mesmo escopo e regras de programação. Já o tipo de plano + número e os termo de locais são específicos a nível de projeto podendo variar as propriedades desses termos em diferentes obras. Por último, o número seriado é específico no nível de plano, sendo utilizado caso exista uma repetição na combinação em qualquer nomenclatura, mas também para especificar cada pacote de trabalho em planos diferentes e com propriedades diferentes. Assim, quando da programação da atividade da estrutura do primeiro tipo na obra 4 na linha de balanço, o pacote de trabalho seria LP1-2EST-OBRA_4-1T. Quando este mesmo pacote for programado no médio prazo versão 4 e curto prazo da semana 10, o pacote de trabalho seria MP4-2EST-OBRA_4-1T e S10-2EST-OBRA_4-1T, respectivamente. Já para a descrição da décima restrição e quinta causa de não cumprimento dos planos, seria OBRA_4-R-10 e OBRA_4-C-10, respectivamente.

Figura 48 - estruturação dos WP, restrições e causas no sistema de informação

		Tipo Plano + Número -	**Processo -**	**Obra -**	**Local**	**Indicativo de Restrição/Causa**	**Número Seriado**
Longo Prazo (LP)	Estrutura WP	LP1 -	2EST -	OBRA_4 -	1T	-	
Médio Prazo (M)	Estrutura WP	MP4 -	2EST -	OBRA_4 -	1T -	-	2
	Estrutura Restrições			OBRA_4 -		R	10
Curto Prazo (S)	Estrutura WP	S10	2EST -	OBRA_4 -	1T -	-	5
	Estrutura Causas			OBRA_4 -		C	5

Fonte: elaborada pela autora.

5.2.3 Implantação dos Níveis Hierárquicos

Esta sessão apresenta as regras de padronização definida para a implementação dos níveis hierárquicos e como foi o processo de implementação. A forma como os usuários utilizaram estas regras será descrito na sessão 5.3 USO DO SISTEMA DE .

5.2.3.1 Longo Prazo

A implementação do planejamento de longo prazo iniciou-se pela definição dos padrões organizacionais a serem seguidos, visando uniformizar os critérios de elaboração e acompanhamento dos cronogramas. Esses padrões foram construídos a partir das facetas de processo e de local e da estrutura de códigos padronizados descritas anteriormente, que passaram a orientar a segmentação do escopo de trabalho e a integração com o orçamento.

Com essas bases conceituais definidas, foi desenvolvida uma metodologia de planejamento em Linha de Balanço, adotada como referência para representar o fluxo produtivo e balancear as frentes de serviço. O processo de implementação foi conduzido em três etapas principais.

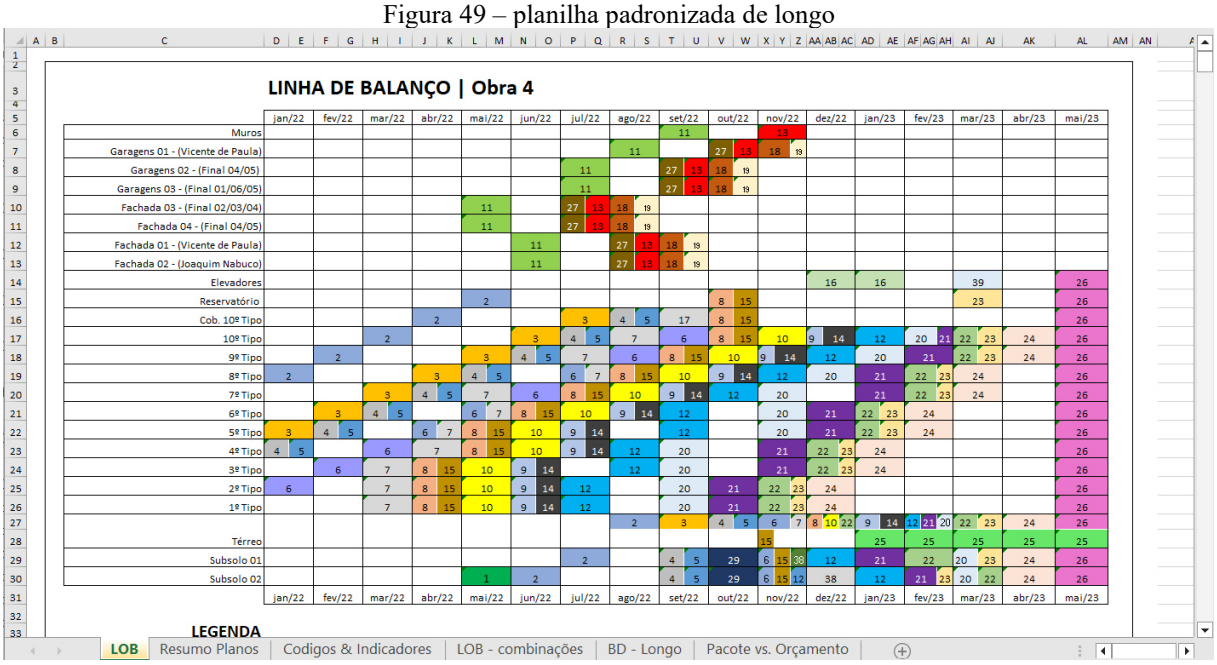
Na primeira, foi realizado um workshop de capacitação com as equipes técnicas, no qual se apresentaram os fundamentos da LOB, os critérios para definição de ritmos de produção e as diretrizes para formação dos lotes e cruzamento de frentes. Essa etapa buscou alinhar o entendimento entre os participantes e consolidar o vocabulário comum de processos, estabelecendo uma base semântica para o planejamento.

Na segunda etapa, as equipes foram organizadas em grupos de trabalho para elaborar o plano de longo prazo com base em projetos reais da empresa. Nessa atividade, os participantes definiram os locais de produção e aplicaram os processos padronizados como unidades básicas de programação, resultando em um plano balanceado e transparente, conforme preconizado no diagnóstico.

Na terceira etapa, o conteúdo produzido foi organizado em uma planilha padronizada de Linha de Balanço, conforme exemplificado na Figura 49. Essa planilha materializa o modelo conceitual apresentado no ERD da Figura 43, traduzindo suas entidades em elementos operacionais. A aba LOB representa graficamente a programação da produção, enquanto a aba Pacotes vs Orçamento vincula os pacotes de trabalho aos itens orçamentários. As entidades Faceta de Processo, Faceta de Local e Obra são operacionalizadas na aba Códigos e Indicadores, que reúne a terminologia padronizada utilizada em todos os níveis de planejamento. Já as

entidades Atribuições e Pacotes de Trabalho são registradas na aba BD – Longo. Por fim, a aba LOB – Combinações atua como interface de apoio, automatizando a transformação da representação gráfica da LOB em uma base de dados estruturada.

Figura 49 – planilha padronizada de longo



Fonte: elaborada pela autora.

Após a estruturação da planilha padronizada, a Linha de Balanço passou a funcionar como ponto de partida para a geração de dados estruturados. Nessa aba, cada célula representa a execução de um processo (no eixo vertical) em um local (no eixo horizontal), ao longo de um intervalo de tempo. O preenchimento é feito pelos engenheiros de obra, que inserem os códigos padronizados de processo definidos pela organização.

A Figura 50 ilustra como essas informações são codificadas: cada célula da LOB — ao combinar data, local e processo — gera um identificador único (por exemplo, 44593;1T,2), que sintetiza as três dimensões principais da programação. Esse código é automaticamente criado na aba LOB – Combinações, responsável por transformar a representação gráfica em um formato computacional legível.

Na sequência, a aba BD – Longo consolida todos esses códigos em uma lista contínua de pacotes de trabalho, desmembrando cada termo em colunas e consultando suas descrições nas listas padronizadas de facetas. Esse processo transforma a LOB em uma base de dados estruturada, capaz de registrar dados do longo prazo no sistema simplificado de informação.

Figura 50 – criação da base de dados a partir da LOB



Fonte: elaborada pela autora.

A última etapa do planejamento de longo prazo correspondeu à integração entre o planejamento e o orçamento, consolidada pela entidade Pacote vs Orçamento. Essa integração foi operacionalizada na aba de mesmo nome, responsável por associar cada pacote de trabalho aos itens orçamentários correspondentes, conforme demonstrado na Figura 51.

Figura 51 - trecho da definição do escopo de trabalho na faceta de processo para a obra 4

Item Orçamento	Descrição Orçamento	Peso	Código Processo	Descrição do Processo
01.04	TRABALHOS EM TERRA	0,557%	1FUN	Fundações e trabalho em terra
01.05	INFRA-ESTRUTURA	4,404%	1FUN	Fundações e trabalho em terra
01.06	SUPRA-ESTRUTURA	23,284%	2EST	Estrutura de concreto e esperas
01.07	PAREDES E PAINEIS	6,874%	3ALV	Alvenaria Externa e Interna
01.08.002	TUBULACOES E CAIXAS ELETRICAS	2,449%	4TUB	Hidráulica, Elétrica,Split, Contramarco e Gás
01.10.001	INSTALACOES HIDROSSANITARIAS	6,798%	4TUB	Hidráulica, Elétrica,Split, Contramarco e Gás
01.10.004	ESPERA DE AQUECEDOR	0,058%	4TUB	Hidráulica, Elétrica,Split, Contramarco e Gás
01.11	SISTEMA DE CLIMATIZACAO	1,644%	4TUB	Hidráulica, Elétrica,Split, Contramarco e Gás
01.12	INSTALACAO DE GAS CENTRAL (50%)	0,172%	4TUB	Hidráulica, Elétrica,Split, Contramarco e Gás
01.16	ESQUADRIAS DE ALUMINIO E PVC (8%)	0,351%	5CON	Contramarco de Alumínio

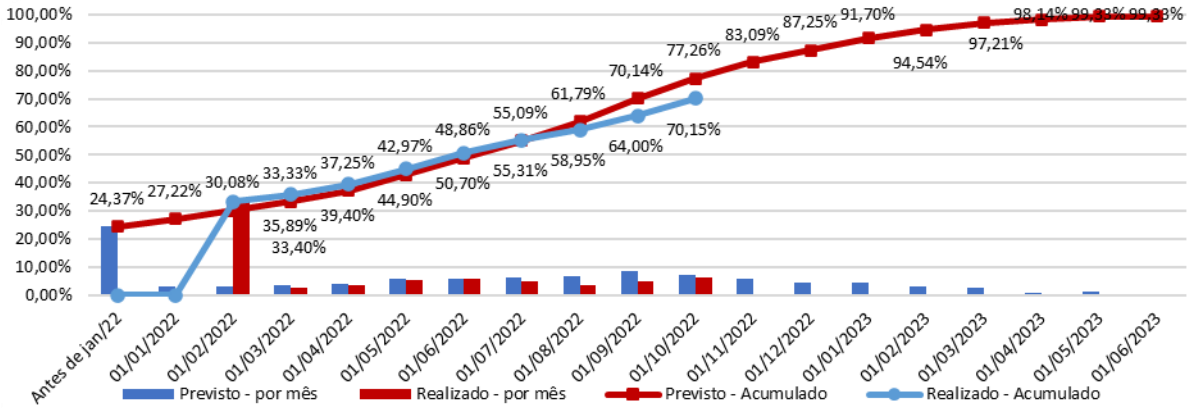
Fonte: elaborado pela autora.

Nessa aba, os itens do orçamento foram distribuídos entre os processos definidos na LOB, utilizando a faceta de processo como elo entre planejamento e custo. Essa estrutura permitiu representar relações de muitos-para-muitos, nas quais um mesmo item orçamentário podia estar parcialmente alocado a diferentes processos. Por exemplo, o processo 4TUB reúne cinco itens orçamentários, mas o item “Instalações de gás central” teve apenas 50% de seu valor atribuído a esse processo. Esse tipo de associação garantiu que o peso financeiro de cada pacote refletisse a lógica real de execução da obra.

A partir dessa distribuição, os pesos orçamentários foram automaticamente incorporados à base de dados do BD – Longo, resultando na geração da Curva S agregada por mês, apresentada na Figura 52. Essa curva permitiu visualizar o fluxo de desembolso previsto e realizado, identificando picos e vales de alocação de recursos ao longo do tempo. A análise conjunta entre

curva e cronograma subsidiou ajustes de balanceamento das frentes de trabalho e decisões gerenciais sobre o ritmo de execução.

Figura 52 - trecho da definição do escopo de trabalho na faceta de processo para a obra 4



Fonte: elaborado pela autora.

Ainda que a modelagem entre pacotes de trabalho e custos não constituísse o foco central desta pesquisa, a entidade Pacote vs Orçamento configurou-se como um produto secundário, desenvolvido com o propósito de contextualizar o sistema de informação ao ambiente organizacional. Essa integração forneceu um parâmetro adicional de análise, permitindo compreender o impacto financeiro das decisões de planejamento e orientar ajustes estratégicos nos ciclos de controle da produção. Dessa forma, a Curva S revisada passou a contemplar 100% dos itens orçamentários, incluindo mão de obra própria e terceirizada, consolidando-se como indicador de controle físico-financeiro e referência para os ciclos de planejamento subsequentes.

5.2.3.2 Médio e Curto Prazo

A implantação dos níveis hierárquicos de médio e curto prazo deu continuidade aos padrões estabelecidos no planejamento de longo prazo, que já havia consolidado o uso das facetas de processo e local. Essas bases asseguraram a consistência semântica entre os diferentes horizontes de planejamento e permitiram a rastreabilidade das informações ao longo dos ciclos de controle.

A implantação foi conduzida em três etapas sequenciais. Na primeira, realizou-se um segundo workshop de capacitação, no qual foram apresentados os fundamentos das rotinas de médio e curto prazo, bem como os benefícios esperados com sua sistematização. Na mesma semana ocorreu a segunda etapa, voltada à preparação individual de médio prazo com os engenheiros

das obras. Nessa fase, os profissionais iniciaram a programação de suas frentes de serviço com o acompanhamento desta pesquisadora e da multiplicadora Lean, aplicando os conceitos apresentados e utilizando a planilha padronizada. Na semana seguinte foi implantada a rotina de curto prazo, com momentos de preparação no escritório junto aos engenheiros e, posteriormente, nos canteiros durante a realização das primeiras reuniões.

A planilha padronizada utilizada em ambos os níveis hierárquicos está ilustrada na Figura 15. Ela traduziu as entidades do modelo conceitual do sistema de informação para o nível operacional, conforme segue:

a) Códigos: facetas de processo, local e obra, além das categorias de restrição e causa;
b) Resumo dos Planos: entidade que consolida versões e informações de controle;
c) Médio Prazo e Curto Prazo: entidades de Atribuição e Pacote de Trabalho, diferenciadas pelo horizonte de planejamento;
d) Pacote e Restrições e Lista de Restrições: entidades que formalizam as restrições e planos de ação;
e) Causas: entidade que registra as origens dos desvios e respectivas ações corretivas;
f) Banco de Dados: compilação de indicadores de médio e curto prazo

Figura 53 – planilha de médio e curto

	A	B	C	E	F	I	J	K	L
1	Obra	Código - Processo	Descrição Processo	Código - Local	Descrição Local	Tipos de Restrições	Status Causa	Status Restrição	Categoria Causa
2	4	1FUN	Serviços Iniciais (Trabalhos	MUR	Muros	Projeto	Resolvida	Atrasada	Falta de mão de obra
3		2EST	Estrutura de Concreto	FG1	Garagens 01 - (Vicente de Pau	Material	Pendente	Pendente	Baixa Produtividade
4		3ALV	Alvenaria	FG2	Garagens 02 - (Final 04/05)	Material-Solicitação		Removida no Prazo	Mudança de Plano
5		3ENC	encunhamento	FG3	Garagens 03 - Final (01/06/05	Material-Compra		Removida Atrasada	Quebra de Equipamento
6		4TUB	Tubulações (Elétrica, Hidrc	F03	Fachada 03 - Final (02/03/04)	Material-Entrega			Predecessor não concluído
7		4ELE	Tubulações Elétricas	F04	Fachada 04 - (Final 04/05)	Equipamentos			Chuva
8		4HID	Tubulações Hidrossanitária	F01	Fachada 01 - (Vicente de Paul	Mão de Obra			Retrabalho
9		4CLI	Climatização	F02	Fachada 02 - (Joaquim Nabuc	Espaço			Falta de Material
10		4GAS	Gás	ELE	Elevadores	Segurança			Dificuldade do trabalho
11		5CON	Contramarco de Alumínio	RES	Reservatório	Informação			Absenteísmo
12		6RIN	Reboco Interno	COB	Cob. 10º Tipo	Qualidade			Falta de Equipamento
13		6TAC	Tacação	10T	10º Tipo	Planejamento			Interferência com outro serviço
14		7CTP	Contrapiso Nivelamento	9T	9º Tipo	Vistorias			Produtividade Superestimada
15		8IMP	Impermeabilização Sacada	8T	8º Tipo	Método			Projeto (Mudança ou incompatibilidade)
16		9AZJ	Azulejos	7T	7º Tipo				
17		10FOR	Forro de Gesso	6T	6º Tipo				
18		11REX	Reboco Externo	5T	5º Tipo				
19		12MSS	Massa Corrida	4T	4º Tipo				
20		13SOL	Soleiras	3T	3º Tipo				
21		14PCE	Piso Cerâmico	2T	2º Tipo				
22		15FIA	Instalação Elétrica (Fiação	1T	1º Tipo				
23		16ELE	Elevador	TER	Térreo				
24		17TEL	Telhado	SS1	Subsolo 01				
25		18PEX	Pintura Externa	SS2	Subsolo 02				
26		19ALU	Esquadria de Alumínio e Vi	CLZ	Toda Obra				
27		20MAD	Esquadria de Madeira						
28		21PIN	Pintura Interna Final						
29		22ACA	Acabamento Elétricos e Eletrônicos						

Códigos | Resumo_Planos | Médio Prazo | Pacote e Restrições | Lista de Restrições | Curto Prazo | Causas | Banco de Dados

Fonte: elaborada pela autora.

As preparações de médio prazo foram conduzidas pelos engenheiros de cada obra, que elaboraram planos de 12 semanas aplicando os códigos de processo e local definidos no padrão organizacional. Cada linha da planilha representava um pacote de trabalho, contendo o

responsável, as previsões de início e término e o status de execução. Essa organização permitiu a rastreabilidade dos pacotes ao longo dos ciclos, com registros no cabeçalho que incluíam o nome do engenheiro responsável, o mestre de obras e os participantes das reuniões.

A Figura 54 apresenta as visualizações da aba de médio prazo e do plano de ação associado. Existe uma relação muitos-para-muitos entre as restrições e os pacotes de médio prazo (Figura 54a), operacionalizada pela associação do código do pacote com o número da restrição (Figura 54b) na entidade Pacote e Restrições. Vale ressaltar também que o código dos pacotes e restrições seguem o padrão descrito em 5.2.2 Definição das Estrutura de Códigos Padrão para PT, Causas e Restrições.

Figura 54 - implantação do médio prazo

Plano de Médio Prazo — **MP15**

Obra: Obra_4 | Eng.: | Data: 27/04/2023

Participantes da Reunião:

Cod. Pacote de Trabalho	Descrição do Pacote de Trabalho	SEMANAS 01/05 a 7/5	08/05 a 14/5	15/05 a 21/5	22/05 a 28/5	29/05 a 4/6	05/06 a 11/6	12/06 a 18/6	19/06 a 25/6	26/06 a 2/7	03/07 a 9/7	10/07 a 16/7	17/07 a 23/7
MP15-18PEX-Obra_4-RES	Pintura Externa Final Reservatório												
MP15-24LIM-Obra_4-CLZ	Patilhasfachada do prédio												
MP15-21PIN-Obra_4-9T	Hall de entrada e salão de festas												
MP15-21PIN-Obra_4-CLZ	Escadaria - subolo 01 / subsolo 02												
MP15-30PEP-Obra_4-TER	Pintura Epoxi - Garagem Térreo												
MP15-24LIM-Obra_4-10T	Limpeza Final - 10º Pavimento												

(a) plano de médio prazo

Lista de Restrições — **MP15**

Obra: Obra_4 | Eng.: | Data: 27/04/2023 | Participantes da Reunião:

Nº	Descrição da Restrição	Data início atividade	Tipo de Restrição	Responsável pela remoção	Data limite	Data da remoção	Status
Obra_4-R62	Iluminação de emergência - Fechar orçamento - RM 8639 -	13/02/23	Material-Solicitação		13/02/2023	20/02/2023	Removida Atrasada
Obra_4-R63	Sistema de Câmeras e interfonia - Fechar orçamento - RM	13/02/23	Material-Solicitação		13/02/2023	20/02/2023	Removida Atrasada
Obra_4-R64	Quadro de medidores - Fechar orçamento - RM 12357 -	13/02/23	Material-Solicitação		13/02/2023	20/02/2023	Removida Atrasada
Obra_4-R65	Sistema de alarme definitivo - RADAR - acertar orçamento -	13/02/23	Projeto		14/02/2023	20/02/2023	Removida Atrasada
Obra_4-R66	Corrimão de madeira - Cobrar contrato de MO e entrega do	13/02/23	Material-Compra		10/01/2023	27/02/2023	Removida Atrasada
Obra_4-R67	Portas - PCF -Instalação das portas corta fogo	17/03/23	Mão de Obra		17/03/2023	17/03/2023	Removida no Prazo
Obra_4-R70	Montar os elevadores 01	27/02/23	Equipamentos		27/02/23	27/02/2023	Removida no Prazo

(b) plano de ação para a lista de restrições

A rotina de curto prazo teve início com a preparação do plano semanal pelos engenheiros na aba Curto Prazo. A Figura 55 apresenta as visualizações dessa aba e do plano de ação associado às causas de não cumprimento. Nesse caso, há uma relação um-para-muitos entre cada pacote de trabalho (Figura 55a) e as causas registradas (Figura 55b). Assim como no médio prazo, os códigos de pacotes e causas seguiram o padrão estabelecido na Seção 5.2.2.

Após a implementação, as rotinas de reuniões foram institucionalizadas para assegurar a continuidade dos ciclos de controle. As reuniões de médio prazo, realizadas mensalmente com a presença da gerência e da diretoria de operações, consolidavam as restrições e os planos de

ação, articulando decisões táticas e estratégicas. Já as reuniões de curto prazo, conduzidas semanalmente nos canteiros com participação ativa de mestres e fornecedores, garantiam a atualização dos planos, a análise das causas de não cumprimento e a tomada de decisão imediata sobre ações corretivas e tarefas suplentes.

Figura 55 – implantação do curto prazo

Plano de Curto Prazo — **S47**

Obra:	Obra_4
Engenheiro:	
Mestre:	
Data de Início:	16/05/2022

PPC: 87,5%

Cod. Pacote de	Descrição do Pacote de Trabalho	Equipe	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	OK?	Causa	Categoria
S47-2EST-Obra_4-TER	Desforma portico de entrada joaquim nabuco										
S47-2EST-Obra_4-SS1	Forma pilar cobertura / vigas lixeira								N	Obra_4-C210	Forma pilar cobertura / vigas l
S47-11REX-Obra_4-TER	Requadro cobertura vigas perifericas								N	Obra_4-C211	Falta de Material
S47-4HID-Obra_4-TER	Sem serviço										
S47-22ACA-Obra_4-CLZ	Acabamentos de churrasqueira finais 02/03/04/05								S		
S47-4ELE-Obra_4-CLZ	Interruptor de campainha								S		
S47-4ELE-Obra_4-1T	Alimentação sub-solo 1								S		
S47-4ELE-Obra_4-10T	Alimentação sub-solo 2								S		
S47-10FOR-Obra_4-10T	Alimentação terréo								S		
S47-4ELE-Obra_4-10T-2	Puxar pontos eletricos do gesso								S		

(a) plano de curto prazo

Lista de Causas

Obra:	Obra_4
Eng.:	
Mestre:	

Nº	Descrição do Problema	Categoria	Ação	Responsável pela ação	Semana	Data de Início da semana do Problema	Prazo	Status
Obra_4-C1	Foi necessário reaferir as prumadas para posteriormente colocar os	Baixa Produtividade	Cobramos metas de produtividade		S1	21/02/22	S2	Resolvida
Obra_4-C2	Sem pedreiro para o cunhamento das paredes do 3º pavimento.	Falta de mão de obra	Contratação de pedreiro		S1	21/02/22	S2	Resolvida
Obra_4-C3	Rebocador não conseguiu finalizar o reboco do apto 203	Baixa Produtividade	Substituição do pedreiro		S1	21/02/22	S2	Resolvida
Obra_4-C4	Faltou encanador instalar o dreno p colocar a caixas dos splits	Predecessor não concluído	Encanador finalizou		S2	28/02/22	S3	Resolvida
Obra_4-C5	Pedreiro que estava rebocando o apto quebrou o pé	Falta de mão de obra	Substituímos por outro rebocador		S2	28/02/22	S3	Resolvida
Obra_4-C6	Choveu durante a semana e não conseguimos executar	Chuva	Fazer na próxima semana - S4		S3	07/03/22	S4	Resolvida
Obra_4-C7	Optamos por fazer a alvenaria externa do 6º e 7º pav., para mudar	Mudança de Plano	Fazer na próxima semana - S4		S3	07/03/22	S5	Resolvida
Obra_4-C8	Deixamos de fazer a tacação do apto 306 para fazer a escadaria do	Mudança de Plano	Fazer na próxima semana - S5		S3	07/03/22	S4	Resolvida
Obra_4-C9	Deixamos de fazer a tacação do apto 402 para fazer a circulação 4º	Produtividade Superestimada	Fazer na próxima semana - S5		S4	14/03/22	S5	Resolvida
Obra_4-C10	Equipe de carpintaria não conseguí cumprir a meta, poucos	Baixa Produtividade	Fazer na próxima semana - S6		S5	21/03/22	S6	Resolvida
Obra_4-C11	Iriamos iniciar o contrapiso porém o equipamento do prestador	Quebra de Equipamento	Fazer na próxima semana - S7		S5	21/03/22	S6	Resolvida

(b) plano de ação para as causas de não cumprimento dos planos

Fonte: elaborada pela autora.

Essa estrutura integrada viabilizou a retroalimentação entre níveis hierárquicos, consolidando o vínculo entre o sistema de informação e as práticas de coordenação da produção. O resultado foi um modelo de controle mais responsivo, participativo e orientado por dados, alinhado aos princípios do LPS e sustentado pela semântica das unidades de controle.

5.2.3.3 Resumo da Implementação dos Níveis Hierárquicos

A implementação dos níveis hierárquicos consolidou o modelo conceitual do ERD do EE2 (Figura 43) em um sistema de informação integrado. O Quadro 44 apresenta as propriedades das entidades e sua articulação entre os horizontes de planejamento.

Quadro 44 – propriedades de cada entidade do ERD do EE2

Propriedades	Entidades									
	Pacote de Trabalho	**Pacote vs Orçamento**	**Faceta processo**	**Faceta local**	**Obra**	**Plano [Atribuição]**	**Causas**	**Pacotes e Restrições**	**Lista de Restrições**	**Resumo dos Planos**
Identificador Único	Id_PT	Id_P_O	Id_Fprocesso	id_Flocal	Id_obra	Id_PT	Id_causas	Id_P_R	Id_restricao	Id_plano
Descrição			texto padronizado	texto padronizado	nome da obra	descrição livre	descrição livre		descrição livre	descrição livre
Orçamento + peso	Condicional distribuindo itens	Regras de distribuição dos itens de orçamento								
Data de início e término						data de início e término do pacote			Id_P_R	data de início e término do plano
Outras Datas							data de limite da resolução + data da remoção		data de limite da a remoção + data da remoção	data da realização da reunião
Equipe ou responsável						Nome da equipe	Nome para resolver a ação		Nome para resolver a restrição	Participantes da reunião
Status						1. Sim 2. Não			Condicional entre datas	
Categoria						Tipo de causa	Tipo de causa		Tipo de restrição	
Ação							Descrição da ação a ser realizada			
Chaves estrangeiras	Id_obra, Id_plano, Id_Fprocesso e Id_Flocal,	Id_PT				Id_causas e Id_plano		Id_restricao e Id_PT		Id_obra

Fonte: elaborado pela autora.

Raquel Hoffmann Reck (raquelreck@gmail.com). Porto Alegre: UFRGS/EE/PPGCI, 2025

A entidade Pacote de Trabalho constituiu o núcleo do sistema, conectando planejamento e controle. Cada pacote, identificado por código único derivado das facetas de processo e local, registrou datas, responsáveis e status, sendo aplicado desde o longo prazo (definição dos ritmos) até o curto prazo (verificação semanal). A entidade Pacote vs Orçamento integrou o planejamento físico ao financeiro, possibilitando a geração da Curva S e o acompanhamento dos desembolsos. Embora secundária à modelagem semântica, forneceu um parâmetro de contexto para decisões estratégicas.

As Facetas de Processo e de Local consolidaram o vocabulário padronizado, assegurando consistência terminológica e comparabilidade entre obras. A entidade Obra, por sua vez, permitiu análises cruzadas de desempenho entre empreendimentos. Já as entidades Plano (Atribuição) e Resumo dos Planos sustentaram o controle temporal e de versão, registrando dados de elaboração, participantes e revisões — essenciais à rastreabilidade das reuniões mensais e semanais.

Pacotes e Restrições e Lista de Restrições estruturaram o tratamento relacional das restrições, permitindo múltiplos vínculos e status de resolução, enquanto Causas registrou os motivos dos desvios e respectivas ações corretivas, completando o ciclo de retroalimentação. Já a padronização das chaves entre entidades (Id_obra, Id_plano, Id_Fprocesso, Id_Flocal, Id_causas, Id_restricao) garantiu rastreabilidade entre eventos, planos e decisões, articulando dados de planejamento, execução e controle. Assim, o sistema resultante configurou-se como uma infraestrutura informacional integrada, na qual cada entidade sustenta a coerência entre níveis e o alinhamento entre práticas, dados e decisões. Essa estrutura consolidou a base relacional para as análises semânticas apresentadas no capítulo seguinte.

5.2.4 Relatório Integrado de Obras

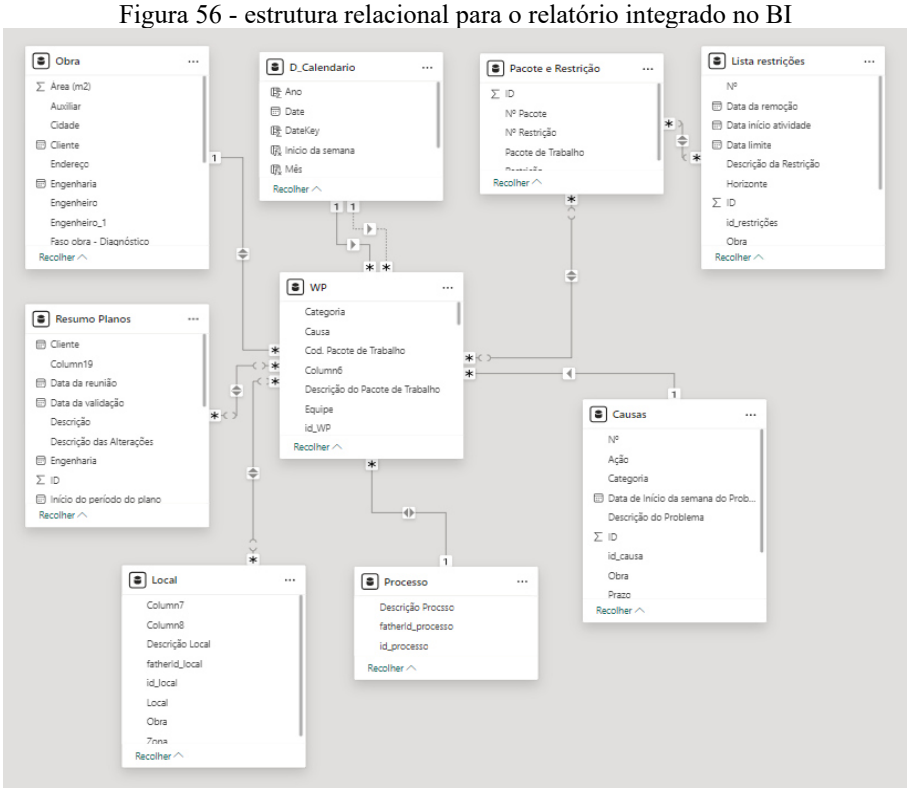
O Relatório Integrado de Obras, desenvolvido em Power BI, consolidou o sistema de informação em uma plataforma analítica capaz de monitorar e comparar dados entre diferentes projetos. Assim como o ERD do EE2, o modelo do BI baseou-se em uma estrutura relacional, porém com foco na análise e visualização dos dados em vez da sua operação. Essa transição do sistema operacional para o analítico manteve os mesmos princípios de organização semântica — baseados nas facetas de processo, local e plano —, mas reorganizou as entidades em torno de uma tabela fato central, refletindo a lógica de integração entre obras e níveis de planejamento.

Logo após a implementação das rotinas hierárquicas, os dados consolidados foram importados para um ambiente único de visualização, permitindo o monitoramento centralizado das métricas do PCP. O BI viabilizou análises táticas em tempo real e comparações entre obras com diferentes graus de maturidade na aplicação do modelo.

A estrutura relacional do BI (Figura 56) preservou as mesmas entidades fundamentais do ERD simplificado, mas em um formato otimizado para consultas e cruzamentos analíticos. A tabela fato central — Pacote de Traabalho (WP) — consolidou os pacotes de trabalho e atribuições de todos os níveis de planejamento e se conectou às tabelas de dimensão, que armazenam os metadados necessários para filtragem e agregação. As principais dimensões mantêm correspondência direta com as entidades do ERD:

a) Obra: identificação da origem dos dados;
b) D_Calendário: referência temporal para agregação e filtros;
c) Pacote e Restrições + Lista de Restrições: vínculos entre pacotes e restrições;
d) Resumo Planos: versões dos planos e datas de elaboração;
e) Causas: motivos de não cumprimento dos planos;
f) Local e Processo: elementos da estrutura padronizada da produção.

Figura 56 - estrutura relacional para o relatório integrado no BI



Fonte: elaborada pela autora.

Comparado ao ERD anterior, o modelo do BI manteve a coerência relacional entre pacotes, restrições, causas e planos, mas simplificou as relações operacionais, agrupando-as em dimensões temáticas e substituindo as cardinalidades explícitas por vínculos automatizados de agregação. Assim, enquanto o ERD simplificado representava o fluxo de registro e atualização dos dados, o modelo do BI passou a representar o fluxo de leitura e interpretação desses dados — transformando o sistema em um instrumento de retroalimentação e aprendizado organizacional.

A Figura 57 apresenta o dashboard desenvolvido para o curto prazo, com foco no controle da produção semanal. O painel lateral esquerdo exibe informações sumarizadas, como o número total de pacotes de trabalho e causas registradas, além de um botão de navegação. O painel superior contém filtros interativos para segmentação dos dados por obra, causa, semana e mês. No painel central, dois indicadores principais são destacados:

a) Percentual de Pacotes Concluídos (PPC), apresentado por obra em gráfico de barras horizontais;
b) Causas de não cumprimento, representadas em gráficos de pizza e barras verticais, categorizadas por obra, plano, processo, equipe e local agregados (como pavimentos tipos, fachadas, garagens e áreas externas, por exemplos).

Figura 57 - visualizações gráficas do relatório integrado – curto prazo



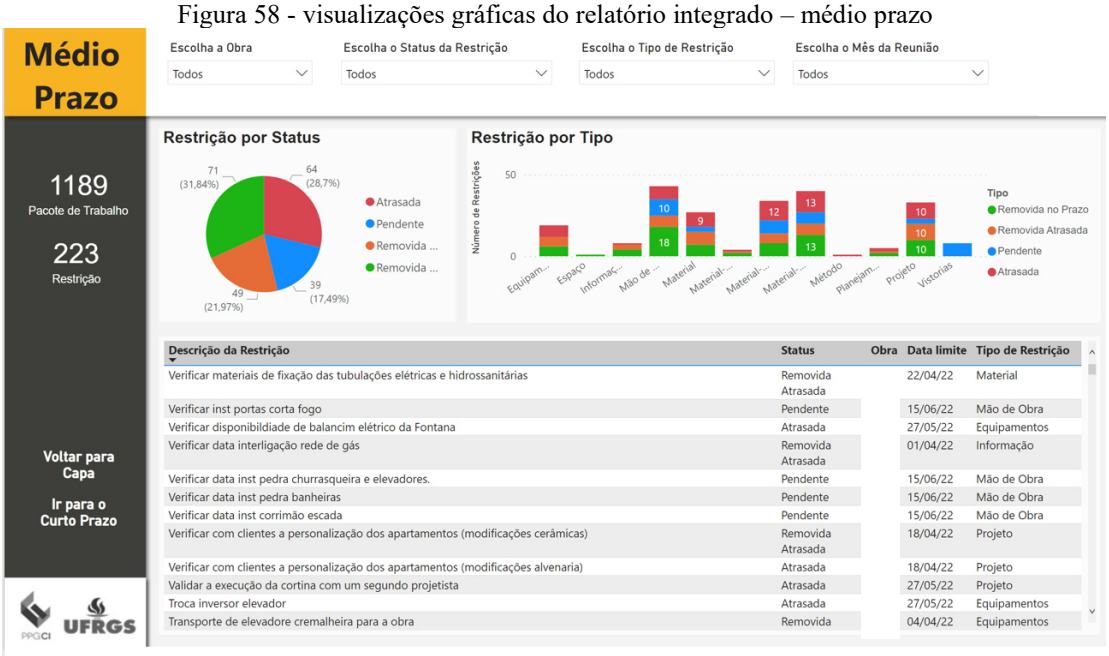
Fonte: elaborada pela autora.

A Figura 58 apresenta o dashboard do médio prazo, com ênfase no acompanhamento das restrições registradas. A estrutura geral repete a lógica do painel anterior: um resumo lateral

com totais e navegação, filtros no topo e visualizações centrais voltadas à análise gerencial. O painel central apresenta as restrições segundo:

c) Status, em gráfico de pizza (pendente, atrasada, resolvida no prazo, resolvida atrasada);
d) Tipo (categoria de restrição), em gráfico de barras (projeto, mão de obra, entre outros).
e) Na base do painel, há um quadro-resumo com todas as restrições, detalhando obra, status, data limite e categoria de restrições.

Figura 58 - visualizações gráficas do relatório integrado – médio prazo



Descrição da Restrição	Status	Obra	Data limite	Tipo de Restrição
Verificar materiais de fixação das tubulações elétricas e hidrossanitárias	Removida Atrasada		22/04/22	Material
Verificar inst portas corta fogo	Pendente		15/06/22	Mão de Obra
Verificar disponibildiade de balancim elétrico da Fontana	Atrasada		27/05/22	Equipamentos
Verificar data interligação rede de gás	Removida Atrasada		01/04/22	Informação
Verificar data inst pedra churrasqueira e elevadores.	Pendente		15/06/22	Mão de Obra
Verificar data inst pedra banheiras	Pendente		15/06/22	Mão de Obra
Verificar data inst corrimão escada	Pendente		15/06/22	Mão de Obra
Verificar com clientes a personalização dos apartamentos (modificações cerâmicas)	Removida Atrasada		18/04/22	Projeto
Verificar com clientes a personalização dos apartamentos (modificações alvenaria)	Atrasada		18/04/22	Projeto
Validar a execução da cortina com um segundo projetista	Atrasada		27/05/22	Projeto
Troca inversor elevador	Atrasada		27/05/22	Equipamentos
Transporte de elevadore cremalheira para a obra	Removida		04/04/22	Equipamentos

Fonte: elaborada pela autora.

O Relatório Integrado de Obras transformou a estrutura relacional do sistema em uma camada analítica de gestão, permitindo identificar padrões, gargalos e recorrências entre obras e ciclos de planejamento. Essa possibilidade de consolidação e comparação só foi alcançada pela padronização semântica das unidades de controle, cujos códigos de processo, local e categorias garantiram consistência entre fontes e rastreabilidade ao nível dos pacotes de trabalho.

Em síntese, o BI reproduziu a lógica conceitual do ERD simplificado em um ambiente de análise dinâmica, no qual dados operacionais se tornaram evidências estratégicas para a tomada de decisão. O resultado é um modelo que preserva a coerência relacional do sistema, mas amplia sua função, conectando o registro técnico da produção ao aprendizado coletivo e à melhoria contínua.

5.2.5 Protocolo de Troca de Informações entre Níveis Hierárquicos

Além da consolidação dos dados entre obras no BI, foram definidos protocolos internos de troca de informações entre diferentes níveis hierárquicos de planejamento dentro de uma mesma obra, com o objetivo de garantir rastreabilidade, coerência e integração semântica entre as decisões tomadas ao longo do tempo. Esses protocolos foram estruturados a partir das relações definidas no modelo ERD e do uso de chaves padronizadas que conectam entidades entre os planos de longo, médio e curto prazo. No total, foram estabelecidos sete protocolos, descritos a seguir, que representam diferentes tipos de consultas estruturadas utilizadas no sistema:

a) comparar as datas de programação dos pacotes de trabalho do longo prazo (LP3-4ALV-8T) com as do médio prazo (MP13-4ALV-8T), utilizando o Id_PT como código-chave;
b) comparar as datas de previsão de término da obra (último pacote programado no longo prazo) com os indicadores de desempenho do médio e curto prazo (PPC), utilizando o Id_plano como código-chave;
c) caracterizar as restrições (ex.: Obra_4-R13) a partir das informações dos pacotes de trabalho de médio prazo (MP13-4ALV-8T), utilizando o Id_P_R como código-chave;
d) relacionar os pacotes de trabalho (MP13-4ALV-8T) aos registrados na lista de restrições (Obra_4-R2), também por meio do Id_P_R;
e) associar os pacotes de trabalho do curto prazo (S40-4ALV-8T) às causas de não cumprimento dos planos (Obra_4-C13), utilizando o Id_causas como código-chave;
f) caracterizar as causas de não cumprimento (Obra_4-C13) quanto às informações do pacote de trabalho correspondente no curto prazo (S40-4ALV-8T), utilizando igualmente o Id_causas como código-chave.

Dentre as diferentes formas de consulta estruturadas, uma delas se destacou por integrar, em uma mesma lógica de análise, os dados provenientes dos três níveis hierárquicos de planejamento. Esse procedimento foi formalizado como Protocolo 7, concebido para cruzar informações de previsão, restrições e execução, oferecendo uma leitura contínua e contextualizada dos pacotes de trabalho ao longo do ciclo produtivo.

O Protocolo 7 foi projetado para permitir uma visão integrada do caminho crítico da produção, definido pela combinação das facetas processo e local. A partir dessa trilha, o sistema realiza consultas estruturadas que cruzam informações provenientes de diferentes versões dos planos, possibilitando uma leitura comparativa entre:

a) previsões de término (longo e médio prazo);
b) status das restrições (médio prazo);

c) dados reais de execução (curto prazo).

Essa leitura cruzada foi utilizada como suporte nas reuniões de médio prazo, permitindo análises críticas sobre o avanço da obra e a atualização das previsões de entrega. O Quadro 45 apresenta a estrutura lógica das consultas realizadas, evidenciando como as entidades do modelo relacional (ERD) foram mobilizadas em cada etapa. A sequência demonstra como as chaves semânticas — processo, local, plano e pacote de trabalho — são combinadas para viabilizar consultas integradas entre níveis hierárquicos.

Quadro 45 – etapas de consultas do protocolo 7

Etapa	Entidades do ERD envolvidas	Relação / Código-chave	Consulta / Resultado obtido	Resultado obtido
1	Faceta Processo; Faceta Local	Id_Fprocesso, Id_Flocal	Definição do caminho crítico ()	4ALV + 8T
2	Resumo dos Planos	Id_plano (LP, MP)	Escolha das versões dos planos ()	LP3 e MP13
3	Plano [Atribuição]; Pacote de Trabalho	Combinação das chaves das etapas anteriores	Geração dos códigos dos pacotes de trabalho	LP3-4ALV-8T, MP13-4ALV-8T, 4ALV-8T
4	Pacotes e Restrições; Causas	Id_PT, Id_P_R, Id_causas	Busca propriedades de datas previstas de inícios e término dos pacotes por plano, datas reais no curto prazo; status restrições	datas
5	(todas acima)	—	Análise de desvios temporais e status	desvios

Fonte: elaborada pela autora.

A Figura 59 complementa essa estrutura, apresentando a visualização prática das consultas do Protocolo 7. Nela, é possível observar como os dados de previsão, restrições e execução são apresentados de forma integrada linha a linha, reforçando a rastreabilidade entre níveis hierárquicos (diferentes colunas) e a coerência entre os planos.

A aplicação desse protocolo só foi possível graças à padronização semântica das unidades de controle, descrita anteriormente. O uso de códigos padronizados para processo, local e versão dos planos permitiu articular os dados entre os diferentes níveis de planejamento, garantindo consistência na comparação e transparência na tomada de decisão. Assim, o Protocolo 7 demonstra na prática que, quando se utiliza uma estrutura de dados relacional e orientada por

facetas, é possível construir análises robustas de desempenho com base em múltiplas fontes e níveis hierárquicos, sem perda de significado nem ruptura de fluxo entre planejamento e controle.

Figura 59 - visualização de informações do protocolo 7

			Linha de Balanço	Médio Prazo				
			mai/22	fev/23				
			LP3	MP13	Desvio (dias)			
		Fachada e Tipo	31/05/2023	07/05/2023	24			
		Térreo	31/05/2023	21/05/2023	10			
		Calaizo	**31/05/2023**	**21/05/2023**	**10**			
			Linha de Balanço	Médio Prazo	Todas as			
			mai/22	fev/23	restrições		Data de	Desvio
OBRA 4			LP3	MP13	foram	Data de Início Real	Término Real	(dias)
		Obra	31/05/2023	07/05/2023				24
Ordem	Processo	Local	LP3	MP13				
CC1	Estrutura de Concreto	8º Tipo	31/01/2022					
CC2	Estrutura de Concreto	9º Tipo	28/02/2022			21/02/2022	01/03/2022	-1
CC3	Estrutura de Concreto	10º Tipo	31/03/2022			24/02/2022	18/03/2022	13
CC4	Estrutura de Concreto	Reservatório	31/05/2022			18/04/2022	05/08/2022	-66
CC5	Alvenaria	Cob. 10º Tipo	31/07/2022			15/08/2022	08/11/2022	-100
CC6	Reboco Externo	Fachada 04 - (Final 04/05)	31/05/2022			20/06/2022	26/08/2022	-87
CC7	Reboco Externo	Fachada 03 - Final (01/06/05)	31/05/2022			25/07/2022	25/11/2022	-178
CC8	Reboco Externo	Fachada 01 - (Vicente de Paula)	30/06/2022	19/03/2023		25/07/2022		-262
CC9	Reboco Externo	Fachada 02 - (Joaquim Nabuco)	30/06/2022			29/08/2022	10/02/2023	-225
CC10	Esquadria de Alumínio e Vidro	Fachada 04 - (Final 04/05)	31/08/2022			31/10/2022	05/01/2023	-127
CC11	Esquadria de Alumínio e Vidro	Fachada 03 - Final (01/06/05)	31/08/2022	20/03/2023				-201
CC12	Esquadria de Alumínio e Vidro	Fachada 01 - (Vicente de Paula)	30/09/2022	27/03/2023		21/11/2022		-178
CC13	Esquadria de Alumínio e Vidro	Fachada 02 - (Joaquim Nabuco)	30/09/2022	20/03/2023				-171

Fonte: elaborada pela autora.

5.3 USO DO SISTEMA DE CONTROLE SIMPLIFICADO COMO APARATO SOCIOMATERIAL NAS ROTINAS DO LPS

Esta seção apresenta como o sistema simplificado foi apropriado e institucionalizado nas rotinas de LPS, revelando sua atuação como um aparato sociomaterial — isto é, como uma tecnologia que se constitui e é constituída pelo uso cotidiano das equipes. A análise evidencia que a consolidação das práticas de LPS ocorreu por meio de processos de apropriação, bricolagem, agência distribuída e inércia, nos quais o sistema mediou a aprendizagem organizacional, a tomada de decisão coletiva e a estabilização das rotinas. As subseções a seguir descrevem como o artefato digital foi progressivamente incorporado às práticas de análise crítica, planejamento, coordenação e controle no canteiro de obras.

5.3.1 Apropriação da análise crítica do conjunto de dados

O objetivo desta ação foi evitar percepções distorcidas sobre as causas reais dos desvios, fortalecendo a capacidade das equipes de interpretar os dados de forma integrada entre os níveis de planejamento. A partir da perspectiva da sociomaterialidade, a ação foi guiada pelo conceito de apropriação, entendido como o processo pelo qual os usuários incorporam a tecnologia às suas práticas, atribuindo-lhe significado e integrando-a ao trabalho. No sistema simplificado, essa apropriação se manifestou quando a análise crítica passou a ocorrer em meio à interação

entre pessoas e artefatos — planilhas*, dashboard* e protocolos — que, ao serem mobilizados nas reuniões, deixaram de ser ferramentas de consulta para se tornarem mediadores da tomada de decisão e da aprendizagem organizacional.

Essa apropriação pode ser ilustrada pelo uso doProtocolo 7 (discutido anteriormente), aplicado nas reuniões de médio prazo para a leitura cruzada dos planos de longo, médio e curto prazo. Nessas análises, os engenheiros verificavam desvios no caminho crítico, identificavam pacotes com restrições e revisavam as causas registradas no curto prazo. A integração dessas informações no sistema simplificado permitiu agir sobre as restrições e consolidar um processo contínuo de análise e atualização dos planos, reforçando o vínculo entre previsões e ações corretivas.

Um segundo exemplo refere-se à apropriação dos dados em escala organizacional. A análise do *dashboard* de BI consolidade de médio prazo revelou que 52,09% das restrições estavam associadas à categoria Materiais, o que levou à reestruturação do banco de dados e à subdivisão dessa categoria em três etapas: Solicitação (24,5%), Compra (8,8%) e Entrega (10,4%), associadas respectivamente às responsabilidades da obra, do setor de suprimentos e dos fornecedores. Essa reconfiguração do aprendizado coletivo baseado em etapas do processo, permitiu rastrear responsabilidades e etapas com maior estoque de restrições e transformando os dados em suporte efetivo à coordenação entre setores.

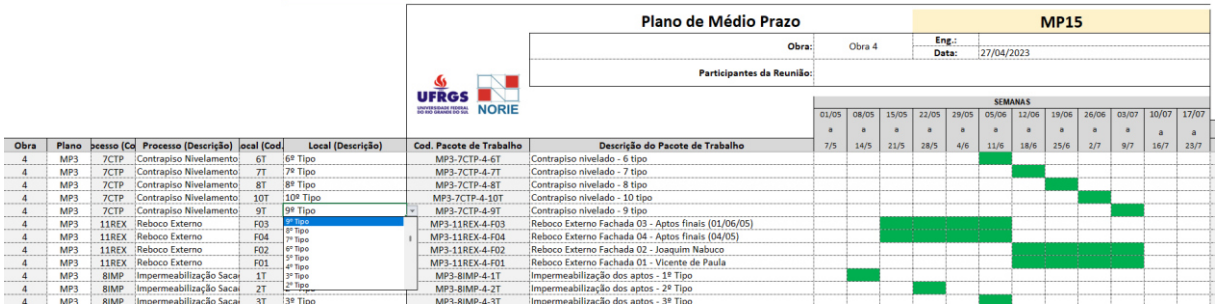
Esses exemplos demonstram que a análise crítica se institucionalizou como prática sociomaterial, sustentada pelo uso das ferramentas digitais e pela padronização das interações entre planejamento e execução. O sistema simplificado passou a funcionar como um aparato de reflexão organizacional, integrando dados, interpretações e decisões em um mesmo fluxo, o que consolidou um ambiente de aprendizagem contínua e de melhoria das práticas do LPS.

5.3.2 Apropriação e recombinação criativa nas rotinas de médio e curto prazo

O objetivo desta ação foi implantar a programação de metas mensais e semanais nas rotinas de médio e curto prazo, de forma padronizada e articulada entre os diferentes níveis de planejamento. A partir da perspectiva da sociomaterialidade, essa implantação foi guiada pelos conceitos de apropriação e bricolagem. A apropriação refere-se ao processo pelo qual os usuários incorporam a tecnologia às suas práticas e passam a integrá-la naturalmente às decisões de planejamento. Já a bricolagem diz respeito à recombinação criativa de recursos e funcionalidades, permitindo adaptações situadas às necessidades de cada obra.

A apropriação foi sustentada pelo uso das planilhas com facetas semânticas, nas quais cada pacote de trabalho era identificado pelas dimensões de obra, plano, processo e local. Essa estrutura tornou possível organizar metas mensais e semanais com base em uma lógica comum, garantindo rastreabilidade e comparabilidade entre planos. A Figura 60 ilustra essa aplicação: a combinação de campos estruturados e descrições livres permitiu que as equipes programassem as metas de produção mantendo consistência terminológica sem perder a flexibilidade necessária para representar contextos específicos. Assim, o sistema passou a oferecer uma base comum para a análise dos planos e a verificação das metas em todas as obras.

Figura 60 – facetas semânticas e descrições livres de médio prazo



Fonte: elaborada pela autora.

Com a apropriação das planilhas padronizadas, a reunião mensal de médio prazo passou a exercer um papel ampliado: além de revisar as metas e prazos, tornou-se também um espaço de análise crítica de desempenho, integrando informações antes fragmentadas entre diferentes ciclos. Essa reunião, antes desvinculada das decisões táticas (evidenciada no mapa da empresa), passou a ser apoiada diretamente pelas planilhas e pelo *dashboard* de BI, permitindo alinhar decisões operacionais aos indicadores de avanço físico e restrições pendentes. A mesma lógica foi estendida às reuniões semanais de curto prazo, realizadas no canteiro com mestres e fornecedores. Nessas ocasiões, as equipes utilizavam as planilhas e os planos de ação das causas de não cumprimento para revisar as metas, discutir alternativas e ajustar as programações futuras com base em dados reais.

A manutenção do campo de descrição livre revelou-se essencial para a institucionalização dessas práticas. Esse espaço permitiu a bricolagem dos usuários, que registravam observações específicas sobre frentes, condições de execução e ajustes de cronograma, sem comprometer a estrutura semântica da planilha. Essa combinação entre padronização e flexibilidade reforçou a apropriação das ferramentas e favoreceu o engajamento das equipes, transformando o uso das

planilhas de um instrumento prescritivo em uma prática coletiva de coordenação e tomada de decisão.

5.3.3 Recombinação criativa no planejamento e controle dos fluxos físicos

O objetivo desta ação foi implantar o planejamento dos fluxos físicos de materiais e equipes na programação de médio prazo, garantindo coerência entre os planos de produção e os recursos disponíveis em cada frente de serviço. Sob a ótica da sociomaterialidade, essa implantação foi orientada pelo conceito de bricolagem, entendido como a recombinação criativa de instrumentos e práticas para atender às necessidades específicas de cada contexto. No sistema simplificado, essa recombinação emergiu do uso articulado de planilhas digitais, representações gráficas e ferramentas físicas — que, ao serem mobilizadas conjuntamente, permitiram alinhar as decisões de planejamento às condições reais de execução.

O primeiro exemplo refere-se ao uso de plantas baixas para a definição dos locais de trabalho e o alinhamento das metas de médio prazo. As equipes de planejamento e produção recorreram a plantas impressas para visualizar os fluxos da fachada, delimitar lotes de produção e ajustar as metas conforme a sequência física das atividades. Essa prática combinou elementos analógicos e digitais: as plantas funcionavam como suporte de discussão e validação espacial, enquanto as planilhas padronizadas consolidavam as metas e pacotes correspondentes. Essa recombinação de ferramentas — representada na Figura 61 — evidenciou a capacidade dos usuários de integrar múltiplos artefatos em uma mesma discussão, transformando a coordenação física das frentes em parte do processo formal de planejamento.

Figura 61 – delimitação de lotes de produção da fachada em planta baixa



(a) locais e fluxos da fachada nao bra 8 (b) locais e fluxos da fachada nao bra 14

Fonte: elaborada pela autora.

O segundo exemplo evidencia o uso combinado de ferramentas impressas e digitais para acompanhar e verificar a completude da programação de médio prazo. Durante as reuniões, as equipes utilizavam simultaneamente planilhas projetadas em tela e versões impressas para marcação manual dos avanços e ajustes de sequência. Essa prática, ilustrada na Figura 62, mostra como o ato de manipular, comparar e sobrepor informações de diferentes mídias se tornou parte do processo de controle. O uso simultâneo de dispositivos físicos e digitais configurou uma dinâmica sociomaterial na qual a tecnologia deixou de ser o único mediador e passou a compor, junto às interações humanas, um sistema híbrido de apoio à decisão.

Figura 62 – acompanhamento do fluxo de trabalho no médio prazo da obra 4



Fonte: elaborada pela autora.

Essas evidências demonstram que o planejamento e controle dos fluxos físicos foi institucionalizado não apenas como uma rotina operacional, mas como uma prática sociomaterial de recombinação. A interação entre meios digitais e físicos ampliou a capacidade de visualização, negociação e ajuste das metas, promovendo um alinhamento mais realistico entre planejamento e execução. A bricolagem, nesse contexto, representou o movimento criativo das equipes em adaptar e combinar instrumentos de acordo com as demandas da obra, fortalecendo a integração entre os fluxos de informação e os fluxos produtivos.

5.3.4 Agência distribuída na remoção de restrições e tomada de decisão

O objetivo desta ação foi implantar a rotina de remoção sistemática das restrições, alinhando-a à reunião mensal de desempenho e formalizando o plano de ação em formato padronizado no sistema. Sob a ótica da sociomaterialidade, essa implantação foi guiada pelo conceito de agência distribuída, no qual a coordenação do trabalho emerge das interações entre pessoas, ferramentas e informações. No sistema simplificado, a agência não estava centrada em um único ator, mas distribuída entre engenheiros, diretores, multiplicadores e setores de apoio,

tendo o sistema como mediador das decisões e da visibilidade compartilhada sobre o avanço da produção.

Durante a preparação do médio prazo, o engenheiro elaborava o plano diretamente na planilha padronizada, enquanto a multiplicadora Lean atuava como facilitadora do processo, apoiando na verificação de coerência das metas e na discussão. Na reunião de médio prazo, o engenheiro da obra apresentava o plano e a lista de restrições projetados na tela, conduzindo o diálogo com base nos dados registrados. O diretor de operações assumia papel estratégico, ponderando decisões, sugerindo novas ações e promovendo o alinhamento entre obras, especialmente em questões que envolviam recursos compartilhados — como equipamentos e fornecedores — e restrições técnicas comuns, como o caso do novo processo de reboco da fachada. A participação dos setores de projetos e compras ocorria por demanda, sempre que uma restrição dependia de ações intersetoriais, permitindo que o status e os responsáveis fossem atualizados em tempo real no sistema. Essa dinâmica é ilustrada na Figura 63, que mostra a interação simultânea entre níveis hierárquicos durante a análise das obras 4 e 7.

Figura 63 - reunião de médio prazo obras



Fonte: elaborada pela autora.

O segundo objetivo dessa ação foi implantar a rotina de decisão compartilhada, negociação e comprometimento das metas no curto prazo, também apoiada pelo princípio da agência distribuída. Durante a preparação da semana, o engenheiro estruturava o plano na planilha e o discutia com o mestre de obras, identificando problemas e registrando observações nos planos impressos. Essa preparação coletiva permitia antecipar restrições e organizar tarefas suplentes, criando uma base comum para a tomada de decisão. Nas reuniões de curto prazo (Figura 64),

realizadas diretamente no canteiro, o engenheiro apresentava o plano impresso e o utilizava como ferramenta de diálogo com mestres e fornecedores. As decisões sobre a execução das atividades — confirmar, ajustar ou postergar pacotes — eram negociadas no momento da reunião, com os registros sendo atualizados posteriormente no sistema, garantindo transparência e rastreabilidade das decisões.

Figura 64 - reuniões de curto prazo nas obras 4 e 7



(a) reunião de curto prazo na obra 4 (b) reunião de curto prazo na obra 7

Fonte: elaborada pela autora.

Em ambos os níveis, médio e curto prazo, as reuniões se configuraram como arenas sociomateriais de coordenação, nas quais a agência distribuída se manifestou na interação entre pessoas e artefatos — planilhas, *dashboard* e planos impressos — que materializavam as decisões e consolidavam o aprendizado coletivo. O sistema simplificado passou a funcionar como um mediador organizacional, garantindo que a discussão sobre restrições e metas ocorresse com base em dados compartilhados e decisões formalizadas, promovendo alinhamento entre setores e fortalecendo a confiabilidade dos planos de produção.

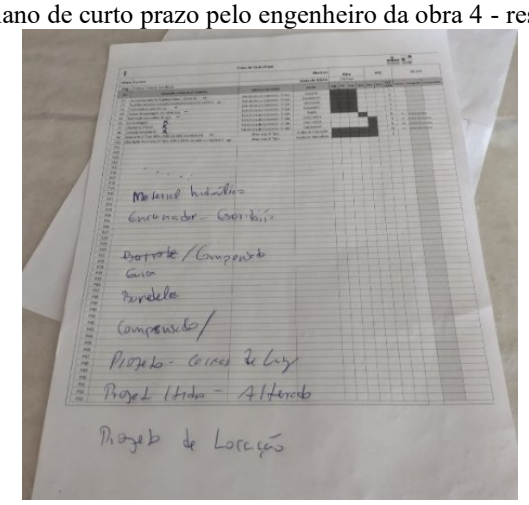
5.3.5 Estabilização de práticas de curto prazo

O objetivo desta ação foi consolidar as práticas de curto prazo, garantindo que a execução semanal ocorresse apenas com atividades plenamente liberadas. A partir da perspectiva da sociomaterialidade, essa consolidação foi orientada pelo conceito de inércia do uso, entendido como a estabilização de práticas e estruturas por meio da repetição contínua de interações entre pessoas e tecnologia. O uso da planilha integrada de médio e curto prazo fomentou a programação de pacotes no curto prazo sem restrições, mesmo sem regras computacionais explicitas para isso. Como as programações de médio e curto eram realizadas na mesma base e pelo mesmo usuário, esta utilização possibilitou uma visão sistêmica das condições de

execução, permitindo que as equipes visualizassem, de forma direta, o que estava ou não apto a ser programado, reduzindo retrabalhos e decisões baseadas em percepção individual.

Embora a prática tenha sido direcionada para tal, observou-se também um efeito emergente de recombinação criativa (bricolagem) no uso cotidiano. As equipes passaram a registrar manualmente, nos planos impressos, restrições percebidas durante a execução, descrevendo-as diretamente nos planos em campo. Essa prática, não prevista originalmente, transformou o plano impresso em um instrumento híbrido de planejamento e controle — ao mesmo tempo operacional e reflexivo. A Figura 65 exemplifica esse uso, mostrando como o engenheiro da obra 4 utilizava o plano de curto prazo para identificar e descrever restrições surgidas durante a semana, integrando-as posteriormente ao sistema digital. Esse processo materializou um movimento sociomaterial de recombinação entre meios físicos e digitais, fortalecendo a rastreabilidade das restrições e o aprendizado coletivo sobre suas causas.

Figura 65 – uso do plano de curto prazo pelo engenheiro da obra 4 - restrições de curto prazo



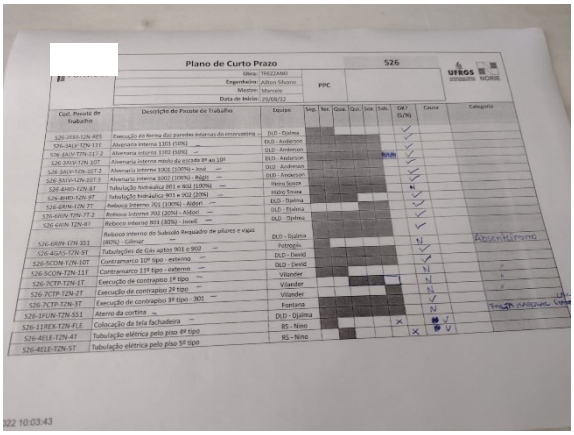
Fonte: elaborada pela autora.

A estabilização das rotinas de curto prazo também envolveu a implantação do plano de ação para problemas evidenciados no campo, consolidando a análise de causas e a execução das ações corretivas como práticas regulares de gestão. Esse processo foi sustentado pela inércia em uso — o registro contínuo e sistemático das causas de não cumprimento reforçou o hábito de reflexão e resposta estruturada. Na Figura 66(a), observa-se o mestre conferindo a conclusão dos pacotes diretamente na planilha, enquanto o engenheiro, na Figura 66(b), utiliza as abas de médio e longo prazo para contextualizar decisões durante a reunião de curto prazo. Essa combinação de instrumentos representa a recombinação criativa (bricolagem) entre ferramentas, na qual os registros físicos e digitais são utilizados de forma articulada para

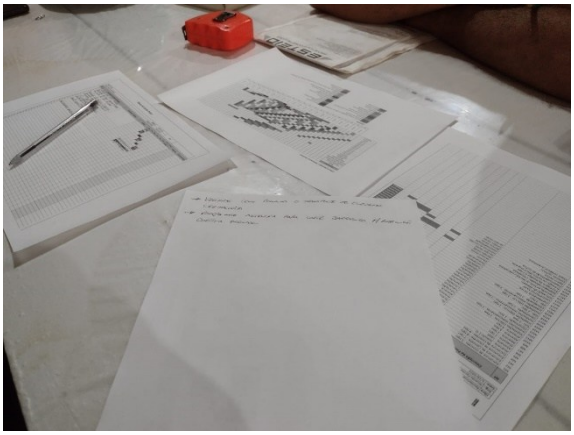
fortalecer o acompanhamento das ações. A utilização simultânea das abas de médio e longo prazo pelo engenheiro — como mostrado na Figura 66(b) — reforça essa integração entre horizontes de planejamento, consolidando a estabilização sociomaterial das rotinas de curto prazo.

Por fim, a implantação de planos de contingência consolidou-se como prática complementar às rotinas semanais. A programação antecipada de tarefas suplentes foi incorporada ao uso cotidiano das planilhas, garantindo previsibilidade e agilidade na resposta a imprevistos. Essa estabilização, também mediada pela inércia do uso, consolidou o sistema simplificado como instrumento de apoio à decisão e à confiabilidade do plano semanal.

Figura 66 - uso das ferramentas na obra 8



(a) conferência da conclução dos pacotes de curto prazo pelo mestre



(b) uso do longo e médio prazo na reunião de curto prazo pelo engenheiro

Fonte: elaborada pela autora.

5.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO NO EE2

Esta seção apresenta a avaliação do artefato, conduzida após o diagnóstico e a implantação do sistema simplificado. Seguindo a lógica formativa e naturalista da FEDS, a avaliação foi realizada em ambiente real, com foco em dois eixos complementares: eficiência técnica e impacto no ambiente e nos usuários. A primeira analisa a capacidade do sistema em reduzir atrasos e aumentar a produtividade do PCP; a segunda avalia seus efeitos organizacionais e humanos, considerando aprendizado, usabilidade e engajamento. A avaliação utiliza indicadores quantitativos e evidências qualitativas de entrevistas, trianguladas ao longo das fases de diagnóstico, implantação, manutenção e uso. Em conjunto, os resultados permitem

verificar aderência ao planejamento, otimização do esforço analítico e sustentabilidade das práticas institucionalizadas.

5.4.1 Eficiência técnica do artefato aplicado pela Análise de Desvios

A avaliação da eficiência do sistema simplificado foi realizada com base nos parâmetros definidos no método. O primeiro é a capacidade do sistema de PCP em evitar atrasos em meses, medida pelo somatório do número de meses em atraso por obra dividido pelo número de obras na cursa S. Já o segundo é capacidade do sistema em evitar atrasos em lotes de produção, medida pelo somatório do número de lotes de produção em atraso por obra dividido pelo número de obras.

Analisando novamente os desvios das obras ao final da fase de implantação e manutenção (Figura 67), temos 0,5 meses em média de atraso a partir do controle da curva S e 24,3 lotes de produção em média de atraso. Uma redução considerável do identificado no diagnóstico para o número de meses, no qual eram 1,22 meses, e uma pequena variação para o número de lotes, no qual era 29,5 lotes de produção.

A análise detalhada revelou que 98 lotes em atraso (67%) concentraram-se nas obras 1 e 2, que já apresentavam desbalanceamento produtivo identificado na linha de balanço no diagnóstico (Figura 41). Nessas obras, o prazo reduzido para execução dos acabamentos internos e externos limitou a efetividade do controle e dificultou a mitigação dos atrasos. Entre os serviços com maior incidência de desvios destacaram-se limpeza fina, revisões finais e pintura interna final, com mais de oito lotes em atraso, também concentrados nas mesmas obras.

De forma geral, a análise dos desvios evidencia melhoria na aderência ao planejamento, com redução tanto no tempo total de atraso quanto na quantidade de lotes em atraso. Essa melhora está fortemente relacionada ao acompanhamento contínuo e às revisões de longo prazo introduzidas pelo sistema simplificado. Esses achados demonstram que o artefato é eficiente, sobretudo por sua capacidade de reduzir lotes e meses em atraso em um curto período de implantação (aproximadamente um ano entre o diagnóstico e a fase de manutenção).

6 CONTEXTUALIZAÇÃO DA APRENDIZAGEM

A implantação e avaliação do sistema de informação descritas no Capítulo 5 evidenciaram avanços em relação ao diagnóstico inicial e superaram diversas limitações do modelo anterior analisado no Capítulo 4. Por avanços podemos evidenciar a estruturação de um sistema simplificado com a estrutura da unidade de controle facetada (C1), utilizando uma terminologia controlada (C2) que permitiram a contextualização semântica (C4) por meio de relatórios integrados em BI e protocolos de troca de informação. A aplicação do sistema simplificado fomentou a estruturação de rotinas de PCP e a institucionalização de práticas do LPS.

Entretanto limitações podem ser evidenciadas, como o constructo relativo à hierarquia das unidades de controle (C3) não foi plenamente explorado, o que restringe a agregação de metas. Outra limitação foi a padronização terminológica por meio de vocabulários internos da organização, sem alinhamento direto com classificações normativas como OmniClass™ ou IFC, o que pode limitar a interoperabilidade em ambientes externos. Ainda assim, a estrutura desenvolvida no EE2 manteve sua coerência com os princípios do modelo conceitual apresentado no Capítulo 4, permitindo sua escalabilidade futura para vocabulários normatizados, caso a organização venha a adotar sistemas baseados em BIM ou plataformas interoperáveis.

Isto posto, o presente capítulo aprofunda essa transição ao analisar a aplicação do modelo no nível dos projetos, trazendo exemplos de aplicação na Obra 4, e discute como o sistema foi utilizado para apoiar decisões táticas e operacionais no canteiro. Essa análise se organiza em duas etapas principais. A primeira etapa foi a exploração da hierarquia das unidades de controle e proposição de um ERD final. Já a segunda etapa foi uma reflexão sobre a retroalimentação dos ciclos de controle a partir das informações geradas.

6.1 ESTRUTURAÇÃO SEMÂNTICA DE HIERARQUIAS ENTRE FACETAS E PACOTES DE TRABALHO

A formalização semântica dos pacotes de trabalho, apresentada no capítulo anterior, estabeleceu uma base sólida para o registro, a rastreabilidade e a consolidação dos dados de produção. No

entanto, para que essas informações possam efetivamente apoiar a tomada de decisão em diferentes níveis organizacionais — do estratégico ao operacional —, é necessário estruturá-las em hierarquias coerentes, capazes de refletir tanto a lógica do planejamento quanto as demandas da execução.

Neste contexto, esta seção aplica, no âmbito do EE2, a proposta de hierarquização discutida no Capítulo 4, explorando como a estruturação combinada das facetas de processo e local permitiu a organização dos pacotes de trabalho em níveis progressivos. Conforme discutido anteriormente, o Constructo 3 destaca a importância da hierarquia como mecanismo de transição entre planos, consolidação de metas e retroalimentação dos ciclos de controle, desde que mantida a integridade semântica dos pacotes. Para isso, propõe-se a convivência entre duas hierarquias complementares:

a) uma hierarquia no âmbito da organização, baseada em facetas estruturadas segundo vocabulários controlados (definidos pela organização) ou normatizados (como OmniClass™ e IFC), voltada à padronização e rastreabilidade entre obras; e
b) uma hierarquia da unidade de controle, derivada das estratégias produtivas específicas de cada obra.

O Quadro 46 compara estas com uma terceira dimensão, a hierarquia dos planos do LPS, responsável por organizar as decisões de controle no tempo. As três hierarquias formam, em conjunto, uma estrutura semântica integrada que conecta estrutura, contexto e temporalidade. A hierarquia no âmbito da organização tem caráter normativo e transversal, assegurando padronização entre obras e interoperabilidade com sistemas BIM por meio de vocabulários controlados e códigos compatíveis com esquemas de classificação. A hierarquia da unidade de controle, por sua vez, traduz as metas de produção de cada projeto, ajustando o nível de detalhamento conforme o contexto e as estratégias de produção adotadas. Já a hierarquia dos planos do LPS introduz o eixo temporal, vinculando as unidades de controle aos horizontes de longo, médio e curto prazo. Essa estrutura cíclica garante a continuidade entre planejamento e execução, favorecendo a consolidação de metas e a retroalimentação dos ciclos de controle.

Dessa forma, o Quadro 46 demonstra que a efetividade do sistema não depende do uso isolado de cada hierarquia, mas de sua interoperabilidade semântica: a hierarquia no âmbito da organização fornece o vocabulário e os padrões de codificação, a da unidade de controle estrutura as instâncias operacionais, e a dos planos define a lógica temporal de uso e atribuição.

Assim, os pacotes de trabalho passam a ser compreendidos simultaneamente em sua posição estrutural, função produtiva e período de execução — condição essencial para assegurar rastreabilidade e integração entre os diferentes níveis de planejamento.

Quadro 46 – resumo das hierarquias discutidas neste trabalho

Dimensão de análise	Hierarquia Organizacional	Hierarquia da Unidade de Controle	Hierarquia dos Planos do LPS
Finalidade	Padronizar a estrutura da informação, assegurando interoperabilidade e rastreabilidade entre obras.	Estruturar o controle produção de acordo com a estratégia de controle e o contexto de cada obra.	Distribuir e priorizar as decisões de controle no tempo (longo, médio e curto prazo).
Base conceitual	Vocabulários controlados e normas (OmniClass™, IFC, ISO 12006).	Estratégias de produção e organizacionais (takt planning, LBMS, etc.).	Ciclos de controle do LPS
Unidade de referência	Facetas como processo, elemento e local.	Pacotes de trabalho, ou seja, a combinação entre facetes	Atribuições de pacotes de trabalho a períodos específicos.
Temporalidade	Estrutura estável e permanente entre obras.	Estrutura variável conforme a estratégia de produção.	Estrutura estável, mas cíclica e recorrente, ligada ao horizonte de controle.
Escala de aplicação	Organizacional e entre projetos.	No projeto.	Sistema de planejamento e controle da produção.
Momento de uso	Definida antes do início do projeto, orienta a estrutura de dados e códigos.	Definida no PCP da obra, antecedendo a programação.	Definida durante a atribuição do pacote de trabalho aos planos.
Vantagens principais	Consistência, comparabilidade e reuso organizacional.	Flexibilidade, adaptação ao contexto e foco operacional.	Detalhamento progressivo dos pacotes de trabalho
Riscos quando usada isoladamente	Engessamento e dificuldade de adaptação local.	Perda de comparabilidade e de integração entre projetos.	Fragmentação entre planos, se não houver estrutura semântica de suporte.
Relação entre as hierarquias	Fornece o vocabulário semântico para as outras hierarquias.	Fornece as instâncias operacionais de controle.	Fornece o detalhamento progressivo das atribuições.
Ponto de integração	Compartilha códigos e facetas com a unidade de controle.	Combina os códigos das facetas e compartilha metas com as atribuições.	Consolida as atribuições para cada unidade em um período de controle.

O *takt planning* é uma abordagem de planejamento da produção que busca sincronizar o fluxo de trabalho baseado no ritmo *takt* de produção (Ballard & Tommelein, 2020). Já o *location-based management system (LBMS)* é um sistema de planejamento e controle que segmenta as atividades com base na sua localização física (Ballard & Tommelein, 2020).

Fonte: elaborada pela autora.

A seguir, esta seção apresenta a aplicação prática dessa lógica hierárquica no EE2. Primeiramente, explora-se a estruturação da faceta de processo, com base nos diagramas de precedência desenvolvidos pela organização. Em seguida, detalha-se a hierarquia da faceta de local, considerando os diferentes níveis de segmentação espacial adotados nas tipologias analisadas. A terceira etapa identifica padrões de agrupamento e detalhamento entre pacotes de trabalho, demonstrando como esses vínculos são utilizados para estruturar metas operacionais. Por fim, descreve-se a estruturação dos dados em um modelo ERD final, com ênfase na representação das hierarquias e na preservação da coerência semântica.

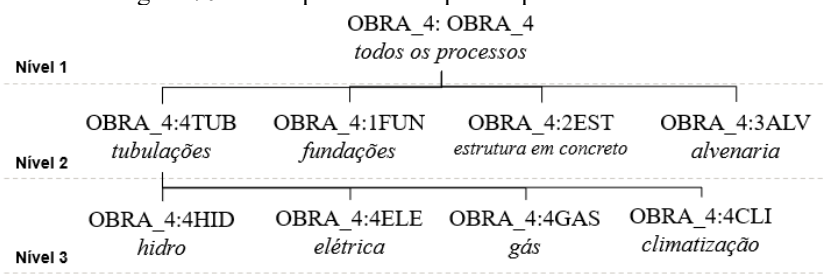
6.1.1 Definição da Hierarquia de Processo

A construção da hierarquia de processo no EE2 teve como base a terminologia controlada desenvolvida pela organização, estruturada a partir dos diagramas de precedência por tipologia construtiva. Esses diagramas, apresentados anteriormente como parte do dicionário contextual da faceta de processo, foram fundamentais para organizar a lógica de sequenciamento produtivo e definir os agrupamentos hierárquicos aplicáveis a cada obra.

No caso da obra 4, adotou-se uma abordagem específica por projeto, considerando as etapas efetivamente previstas no planejamento da produção e os critérios operacionais adotados pela equipe técnica. A definição da hierarquia foi orientada tanto pela lógica de execução quanto pela ponderação dos itens do orçamento atribuídos a cada processo.

A Figura 70 exemplifica a estrutura hierárquica da faceta de processo adotada na obra 4. O Nível 1 reúne todos os processos da obra; o Nível 2 agrupa os processos sob o código 4TUB – Tubulações; e os Níveis 3 detalham os subconjuntos específicos desse grupo, incluindo climatização (4CLI), tubulações elétricas (4ELE), instalações de gás (4GAS) e hidrossanitárias (4HID). Essa organização permite consolidar metas por sistemas, facilitando tanto a coordenação de frentes de serviço quanto a análise agregada de desempenho físico e orçamentário. A hierarquia completa de processos adotada na obra 4 está apresentada no Anexo E.

Figura 70 – exemplo de hierarquia de processo – obra 4



Fonte: elaborada pela autora.

O Quadro 47 apresenta as propriedades atribuídas à entidade de processo, destacando as alterações em relação à estrutura proposta no Capítulo 5. Nesta etapa, a antiga entidade Pacote vs Orçamento deixou de ser tratada como uma tabela independente e passou a compor a faceta de processo por meio de propriedades, responsáveis por representar o peso percentual e o valor monetário de cada item do processo. Essa mudança simplificou a estrutura relacional e reforçou o vínculo direto entre o processo e seu impacto físico-financeiro.

Quadro 47 – propriedades da entidade de processo

Propriedades	**Entidades**		
	Faceta processo	**Processo Organização**	**Obra**
Identificador Único (chave primária)	Id_Fprocesso	Id_Oprocesso	Id_obra
Descrição	descrição	texto padronizado	nome da obra
Peso	ponderação em percentual relativo para cada item do processo		
Valor	ponderação em valor monetário para cada item do processo		
FatherID	Fprocesso_FatherID		
Chaves estrangeiras	Id_obra e Id_Oprocesso		

Fonte: elaborado pela autora.

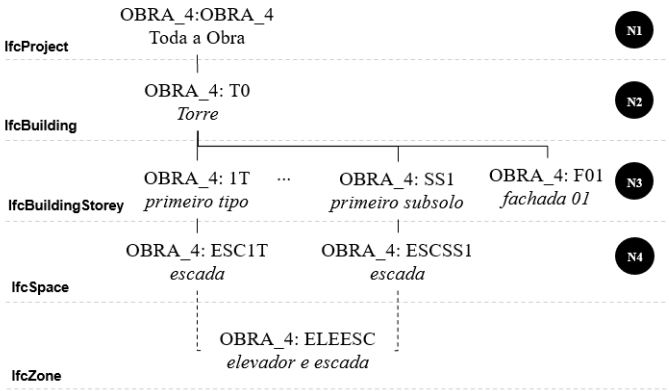
6.1.2 Definição da Hierarquia de Local

A definição da hierarquia de local no EE2 seguiu os mesmos princípios da faceta de processo, fundamentando-se em uma terminologia controlada desenvolvida pela organização e compatível com as classes da estrutura espacial do esquema IFC 4.0. Essa compatibilidade reforça o potencial de interoperabilidade com sistemas baseados em BIM. A codificação por

IfcProject, *IfcBuilding*, *IfcBuildingStorey*, *IfcSpace* e *IfcZone* permite alinhar os registros de planejamento à modelagem digital da obra, mesmo em contextos em que o BIM ainda não foi plenamente implementado, como no EE2.

Na obra 4, a estrutura hierárquica adotada foi organizada em níveis progressivos, conforme ilustrado na Figura 71. O Nível 1 representa a obra como um todo, modelada pela entidade *IfcProject*. O Nível 2 identifica agrupamentos físicos principais, como a torre (T0), classificada como *IfcBuilding*. O Nível 3 compreende os pavimentos, representados por *IfcBuildingStorey*, que incluem elementos como primeiro tipo (1T), primeiro subsolo (SS1) e fachadas (F01). O Nível 4 corresponde aos espaços delimitados dentro dos pavimentos, como escadas (ESC1T e ESCSS1), modelados pela entidade *IfcSpace*. Por fim, a entidade *IfcZone* é utilizada de forma relacional e não hierárquica, para agrupar espaços funcionais — por exemplo, a zona ELEESC, que integra os espaços de elevador e escada. A hierarquia completa de local adotada na obra 4 está apresentada no Anexo F.

Figura 71 - exemplo de hierarquia de local – obra 4



Fonte: elaborado pelo autor.

Essa hierarquia foi construída a partir do mapeamento físico da obra, apoiado na planta baixa e no plano de ataque definido para o empreendimento, de modo que cada código de local refletisse uma unidade construída mensurável e relevante para o controle da produção. Além disso, o agrupamento dos espaços considerou o critério de área construída, utilizado para ponderar a relevância de cada segmento no cálculo do avanço físico.

O Quadro 48 apresenta as propriedades definidas para a entidade de local, que estruturam o relacionamento entre as facetas local e organização no modelo de dados. Assim como ocorreu na faceta de processo, a faceta local incorpora ponderações associadas à área construída de cada

item espacial. Essa propriedade passou a representar o peso relativo das classes do local, permitindo mensurar a contribuição física de cada ambiente no total da obra e qualificando a análise de desempenho segundo métricas geométricas e produtivas.

Quadro 48 – propriedades da entidade de local

Propriedades	**Entidades**	
	Faceta local	**Local Organização**
Identificador Único (chave primária)	Id_Flocal	Id_Olocal
Descrição	descrição	texto padronizado
Peso	ponderação em percentual relativo para cada item do local	
Valor	ponderação em metro quadrado para cada item do local	
FatherID	Flocal_FatherID	
Chaves estrangeiras	Id_obra e Id_Olocal	

Fonte: elaborado pela autora.

6.1.3 Definição de Hierarquias nos Pacotes de Trabalho

Durante o uso do sistema simplificado no EE2, as hierarquias entre pacotes de trabalho foram construídas de forma implícita no momento de sua programação aos planos de médio e curto prazo. Embora os códigos combinassem facetas padronizadas de processo e local, as equipes passaram a utilizar o campo de descrição livre como um meio para detalhar ou agrupar semanticamente os pacotes conforme a necessidade operacional. Essa prática conferiu flexibilidade e adaptabilidade ao sistema, sem comprometer a rastreabilidade dos registros, e revelou uma camada adicional de codificação semântica.

A Quadro 49 ilustra exemplos extraídos para a faceta de processo na obra 4, nos quais as descrições livres permitem reconhecer relações hierárquicas não modeladas formalmente, mas aplicadas na prática. Dessa forma, o detalhamento aparece quando o pacote descreve etapas ou condições específicas de execução (ex.: "Alvenaria interna”), enquanto os agrupamentos integram múltiplos sistemas técnicos (ex.: “Hidráulica + Elétrica” e “água fria e esgoto”).

De forma análoga, na faceta de local, o detalhamento foi usado para identificar apartamentos ou trechos específicos dentro de um pavimento (ex.: “Aptos 1001/1002/1004” ou “Apto 401”), enquanto os agrupamentos operam por conjuntos de pavimentos tipo (ex.: “1º e 2º Tipo”; “3º e 4º Tipo”). Esses agrupamentos permitiram organizar os pacotes segundo blocos funcionais de execução, adaptando o plano à lógica de frentes e à cadência das equipes. A Quadro 50 apresenta exemplos dessa prática, indicando como a descrição livre amplia o significado semântico do código de local.

Quadro 49 – exemplos de detalhamento ou agrupamento de processo

Faceta processo		Descrição	Tipo
6RIN	Reboco interno	Reboco interno - Finaliza Apto 905 - 100%	detalhamento
6RIN	Reboco interno	Mocheta das hidraulicas 9º pavimento - 30%	detalhamento
6RIN	Reboco interno	Reboco interno - Finaliza Apto 906 - 100%	detalhamento
3ALV	Alvenaria	Executar a alvenaria externa do 6º pavimento;	detalhamento
3ALV	Alvenaria	Alvenaria interna (50%) - Apto 601	detalhamento
4HID	Tubulações hidrossanitárias	Tubulação água fria salas 42 a 46	detalhamento
4HID	Tubulações hidrossanitárias	Tubulação de esgoto Salas 42 a 46	detalhamento
4HID + 4 ELE	Tubulações hidrossanitárias + elétricas	Cortes Tubulação Hidraulica / Elétrica - Portal de Entrada - 100%	agrupamentos
4HID + 4 ELE	Tubulações hidrossanitárias + elétricas	Cortes Tubulação Hidraulica / Elétrica - Fazendinha - 100%	agrupamentos

Fonte: elaborado pela empresa.

Essa lógica dual — detalhamento e agrupamento— aplicada tanto à faceta de processo quanto à de local, reforça o papel do pacote de trabalho como entidade central do modelo relacional, capaz de operar em diferentes níveis de abstração conforme o contexto da obra. Mesmo não modeladas explicitamente como atributos no ERD, essas hierarquias podem ser interpretadas, reaproveitadas e reconhecidas pelas equipes, o que demonstra o potencial da descrição livre como componente semântico do sistema de controle.

Quadro 50 – exemplos de detalhamento ou agrupamento de local

Faceta local		Descrição	Tipo
10T	10º Tipo	Mangueiras e caixinhas - Aptos (1001/1002/1004)	detalhamento
5T	5º Tipo	Fiação - Aptos (501/502/503)	detalhamento
4T	4º Tipo	Azulejos - Apto 401	detalhamento
6T	6º Tipo	Massa corrida paredes - Apto 601	detalhamento
1T + 2T	1° e 2° Tipo	Instalação de portas 1° e 2° pvtos	agrupamentos
4T + 5T	4° e 5° Tipo	Instalação esquadrias de aluminio 4° e 5° pvtos	agrupamentos
1T + 2T	1° e 2° Tipo	Colocação piso cerâmico Sacadas 1° e 2° pvtos 25%	agrupamentos
1T + 2T	1° e 2° Tipo	Louças e banheiras com pedra - 1º e 2º Tipo	agrupamentos
3T + 4T	3° e 4° Tipo	Piso vinilico e rodapé - 3º e 4º Tipo	agrupamentos

Fonte: elaborado pela empresa.

No modelo semântico final, essa distinção foi formalizada de forma estruturada. Os detalhamentos passaram a ser representados dentro das próprias facetas, por meio de classes filhas derivadas de cada faceta de processo e local, conforme as propriedades já descritas nas seções anteriores. Essa solução permitiu que cada faceta expandisse sua granularidade sem quebrar a coerência dos códigos e manteve a rastreabilidade das unidades produtivas em diferentes níveis de detalhe. Já os agrupamentos, por sua vez, foram tratados como entidade independente, denominada Relações de Agrupamento, conectada à entidade Pacote de Trabalho. Essa entidade representa a afiliação de um ou mais pacotes a um grupo, sem relação hierárquica, mas com base em grupos. O Quadro 51 apresenta as propriedades definidas para estas entidades.

Essa modelagem possibilita representar tanto a especialização (detalhamento) quanto a generalização (agrupamento) de pacotes de trabalho dentro de uma estrutura relacional coerente, garantindo que cada nível de abstração mantenha integridade semântica e rastreabilidade com suas origens operacionais.

Quadro 51 – propriedades da entidade de pacote de trabalho e relação entre pacotes

Propriedades	Entidades		
	Pacote de Trabalho	**Relações Agrupamentos**	**Grupos**
Identificador Único (chave primária)	Id_PT	Id_PT_agrupamento	Id_grupo
Escopo		Identifica se a relação é baseada em processo, local ou mista (ambos)	
Status		Situação da relação: ativa, encerrada ou suspensa.	
Chaves estrangeiras	Id_Fprocesso e Id_Flocal	Id_grupo e Id_PT	

Fonte: elaborado pela autora.

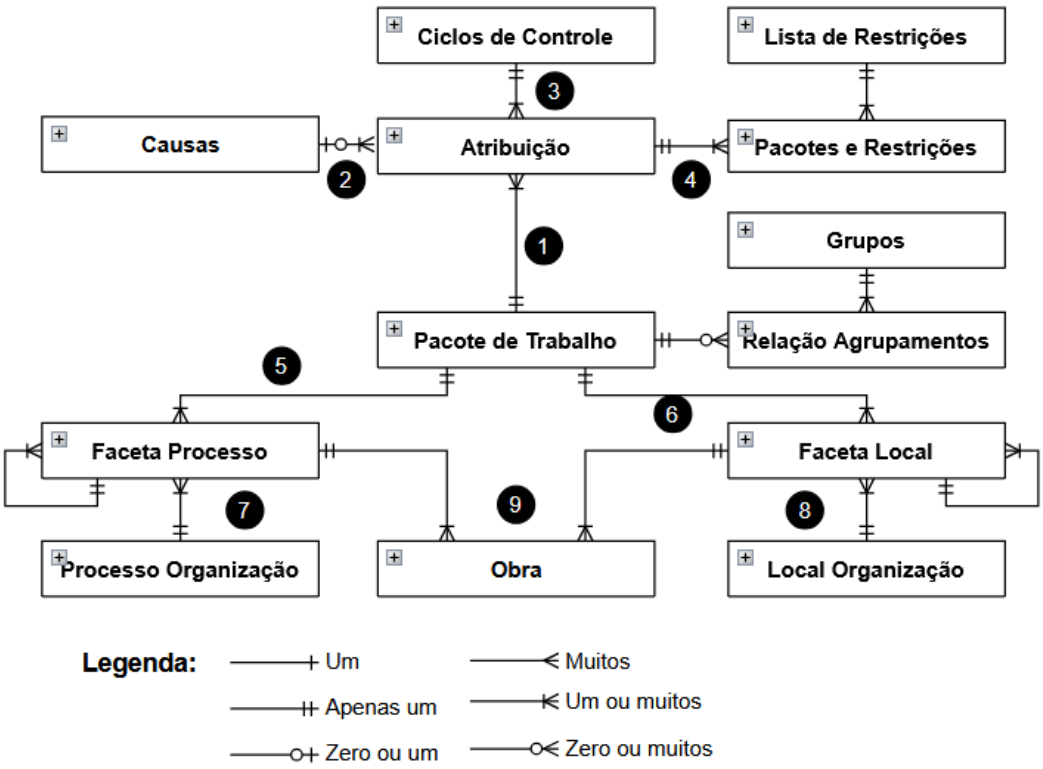
Por fim, essa lógica relacional apresenta paralelismo conceitual com o padrão IFC, que também estrutura suas entidades por meio de relações de agregação (*IfcRelAggregates*) para representar hierarquias e agrupamentos entre elementos do modelo. Assim como o IFC define a composição e a dependência entre objetos físicos, o modelo proposto aplica o mesmo princípio à unidade de controle da produção, representando a decomposição ou combinação de pacotes de trabalho de forma estruturada. Essa correspondência reforça o potencial de interoperabilidade semântica entre o sistema de controle da produção e ambientes BIM, permitindo futuras integrações baseadas em estruturas de dados compartilháveis e rastreáveis ao longo do ciclo de vida do empreendimento.

6.1.4 Estruturação dos Dados em Notação de ERD

A etapa final de estruturação do modelo semântico consistiu na conformação dos dados operacionais à notação de ERD, consolidando as hierarquias discutidas nas seções anteriores em um esquema relacional coerente, reutilizável e adaptável à diversidade dos projetos. O mesmo é apresentado na Figura 72 o qual representa a integração entre as dimensões organizacional, de unidade de controle e de planos. Em comparação ao modelo do Capítulo 5, o novo diagrama evoluiu de uma estrutura predominantemente operacional — voltada ao registro de planos, causas e restrições — para um modelo relacional ampliado, capaz de descrever também as dependências hierárquicas e associativas entre pacotes de trabalho.

A principal modificação foi a inclusão da entidade Relação Agrupamentos e Grupos, criada para formalizar os vínculos de agrupamento entre pacotes de trabalho, discutidas na sessão anterior. Outra alteração relevante foi a reorganização das facetas em duas camadas: a camada operacional (Faceta Processo e Faceta Local) e a camada organizacional (Processo Organização e Local Organização). Essa separação permitiu distinguir os níveis de uso: enquanto as facetas representam os códigos aplicados ao contexto de cada obra, as entidades organizacionais funcionam como vocabulários padronizados e reutilizáveis entre projetos, compatíveis com esquemas de classificação como OmniClass™ e IFC 4.0. Essa estrutura assegura consistência terminológica, rastreabilidade entre empreendimentos e potencial de interoperabilidade com ambientes BIM.

Figura 72 - ERD EE2 parte 2



Fonte: elaborado pela autora.

A entidade Resumo dos Planos também foi reformulada e renomeada para Ciclos de Controle, reforçando a natureza cíclica do sistema de produção. Essa mudança amplia o papel da entidade, registrando os metadados das reuniões — como horizonte de planejamento, datas e responsáveis —, representando de forma integrada os momentos de decisão e retroalimentação dos planos de longo, médio e curto prazo.

Por fim, as entidades Causas, Pacotes e Restrições, Lista de Restrições, Obra e Atribuição (anteriormente denominada Plano [Atribuição]) mantêm a mesma estrutura e propriedades descritas no Capítulo 5, assegurando a continuidade lógica do sistema e a rastreabilidade entre planos, causas e ações corretivas.

O ERD apresenta 9 vínculos contextuais, apresentados na Figura 72 pelos números nas relações entre entidades. Estes representam as relações responsáveis por situar semanticamente os dados no sistema, permitindo que cada informação registrada seja interpretada a partir de seu contexto. É importante destacar que as hierarquias das facetas de processo e de local, bem como as entidades Relação de Agrupamentos e Grupos, compõem a estrutura hierárquica dos pacotes de trabalho, mas não configuram vínculos contextuais, pois descrevem relações estruturais internas entre pacotes. Os vínculos contextuais, por sua vez, conectam os pacotes de trabalho às suas diferentes instâncias de controle, conforme descrito a seguir:

a) atribuições (1), que conectam os pacotes aos planos e ciclos de controle;
b) causas (2), associadas aos desvios de execução vinculados a um pacote;
c) ciclos de controle (3), que registram o status da programação no tempo;
d) restrições (4), identificadas nas reuniões de médio prazo e vinculadas aos pacotes;
e) faceta de processo (7), alinhado aos processos da organização;
f) unidade de controle ponderada pelo impacto econômico da faceta do processo (5);
g) faceta de local (8), alinhado aos locais da organização;
h) unidade de controle ponderada pela área construída da faceta do local (6);
i) obra conectada aos pacotes de trabalho, através das facetas de local e processo (9).

Esses vínculos formam a base contextual do sistema, permitindo que os dados sejam compreendidos não apenas como registros isolados, mas como partes interdependentes de um ambiente semântico de controle da produção. O nível de contextualização semântica dos dados varia conforme o modo de uso do sistema: quanto mais os usuários alimentam o sistema com associações entre entidades, maior é a riqueza semântica e a capacidade analítica do conjunto de dados. Assim, o próprio uso cotidiano do sistema determina o grau de contextualização e a capacidade de aprendizagem que a organização pode alcançar pelo uso dos dados de controle.

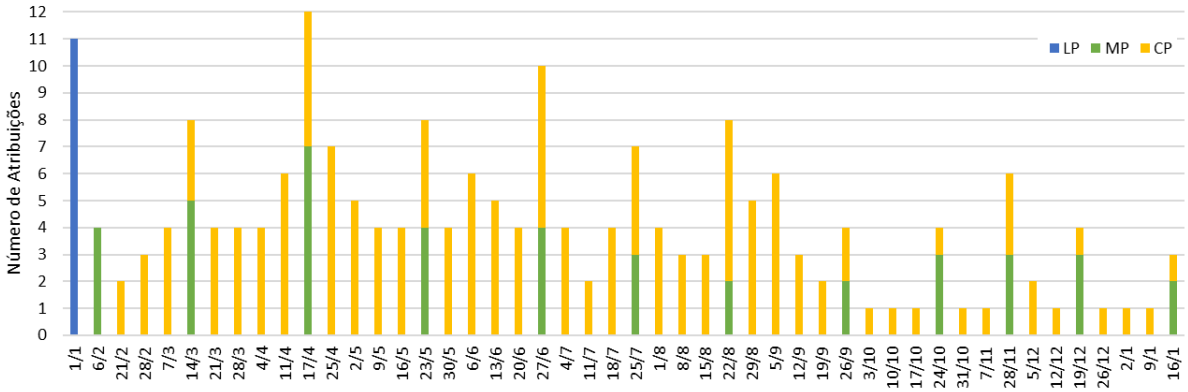
Em conjunto, essas modificações consolidam a transição do modelo de dados de um sistema de registro operacional para uma infraestrutura semântica de controle da produção, capaz de representar relações hierárquicas, ciclos de decisão e dependências entre pacotes. O resultado é

um modelo relacional, que sustenta a retroalimentação contínua dos planos e fundamenta as análises semânticas apresentadas na próxima seção.

6.2 APOIO Á TOMADA DE DECISÃO POR MEIO DE DADOS CONTEXTUALIZADOS

A Figura 73 apresenta a distribuição das atribuições de reboco interno (6RIN) na obra 4, agrupadas por serias do plano de longo (LP), médio (MP) e curto prazo (CP). O gráfico evidencia o número de atribuições registradas em cada ciclo de planejamento, permitindo observar a variação da carga de trabalho e a recorrência das reprogramações ao longo do tempo. O plano de longo prazo (LP), elaborado em 01/01/22, consolida uma única atribuição para o conjunto dos locais da obra 4, servindo como referência para os planos subsequentes. Os ciclos de médio prazo (MP1 ao 14) apresentam marcos intermediários de planejamento, com oscilações associadas à entrada de novos frentes e ajustes de ritmo produtivo. Já o curto prazo (CP) concentra a maior frequência de atribuições, refletindo a dinâmica de detalhamento semanal e de acompanhamento da execução.

Figura 73 – metadados da programação de atribuição por plano



Fonte: elaborado pela autora.

Esse padrão reflete o funcionamento de um sistema de planejamento que opera com níveis distintos de granularidade e horizonte de controle. Enquanto o longo e o médio prazo consolidam os pacotes por nível (pavimento), o curto prazo atua como instância de ajuste fino, revelando os desdobramentos necessários à execução real. Para exemplificar esse comportamento, o Quadro 52 detalha o fluxo de trabalho do reboco interno no 2º pavimento (2T), demonstrando como um pacote de trabalho, definido pela combinação de processo e local,

se desdobra em múltiplas instâncias operacionais ao longo dos diferentes horizontes de planejamento.

Quadro 52 – fluxo de trabalho do reboco interno no 2 pavimento

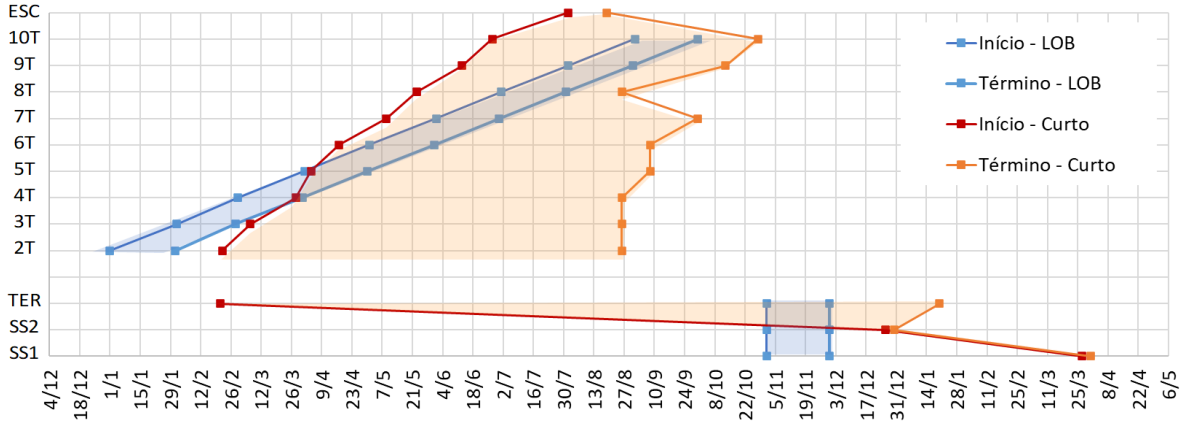
Plano	Descrição do Pacote de Trabalho	Tipo de programação
LP3	6RIN – 2T	Programado para o nível
MP1	Reboco Interno - 2 tipo	Programado para o nível
S1	Reboco interno 2º Pav. (Aptos 201/203).	Sofreu detalhamento
S2	Reboco interno Apto 202.	Sofreu detalhamento
S2	Reboco interno Apto 204.	Sofreu detalhamento
S2	Reboco interno Apto 205.	Sofreu detalhamento
S3	Reboco interno Apto 206.	Sofreu detalhamento
S3	Reboco interno da circulação e escadaria 2º.	Sofreu detalhamento
S27	Alvenaria Mocheta Corredor 2º Andar - 100%	Sofreu detalhamento

Fonte: elaborado pela autora.

O quadro mostra que, enquanto o LP e o MP mantêm o pacote em nível agregado, o CP apresenta múltiplas entradas detalhadas por apartamento e etapas específicas, ilustrando a progressiva decomposição da unidade de controle à medida que o horizonte de planejamento se aproxima da execução.

Em seguida, a Figura 74 compara o planejado (LP) com o executado (CP), evidenciando diferenças entre a previsão inicial e as datas reais de conclusão. A consulta cruzou os campos de data prevista no LP e data real de execução (CP), permitindo observar que, em diversos locais — especialmente entre os pavimentos 6T e 10T —, a execução foi antecipada em relação ao previsto. Essa antecipação indica decisões táticas de ajuste para absorção de incertezas ou melhor aproveitamento de recursos disponíveis. Entretanto, a execução também se mostrou mais fragmentada e extensa do que o planejado. A linha de término no curto prazo ultrapassa a projeção do LP em vários pavimentos, revelando descontinuidades e retrabalhos, e evidenciando a necessidade de mecanismos de retroalimentação entre planos.

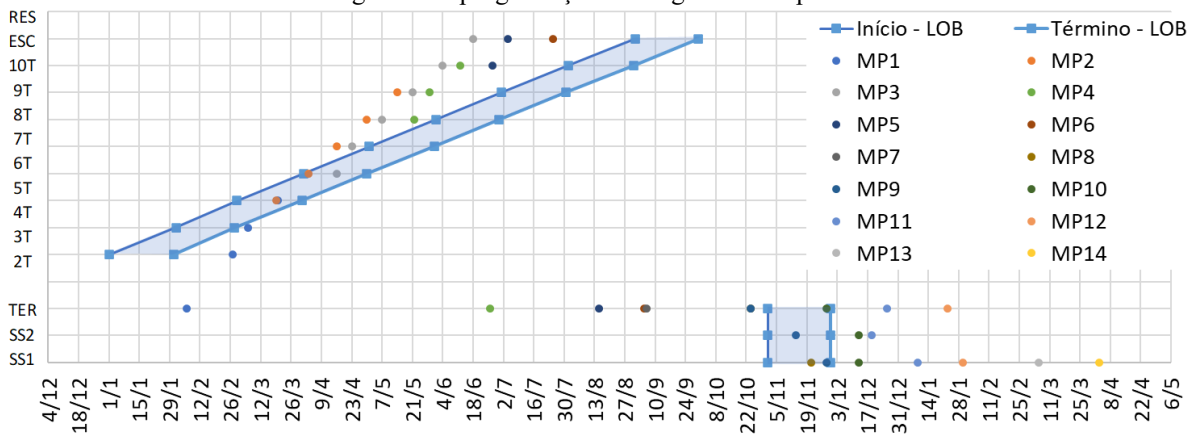
Figura 74 – planejado vs. executado



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 75 aprofunda essa análise ao sobrepor a programação do LP (linhas segmentadas por pontos e com áreas hachuradas) com os registros dos planos de médio prazo (MP). A consulta cruzou os campos de data de atribuição, data de ciclo e tipo de plano, permitindo identificar o adensamento de eventos de reprogramação em determinados locais. Essa sobreposição evidencia a função dos planos de médio prazo como instâncias de flexibilização e refino da estratégia de produção, ajustando o planejamento de longo prazo às condições reais de execução.

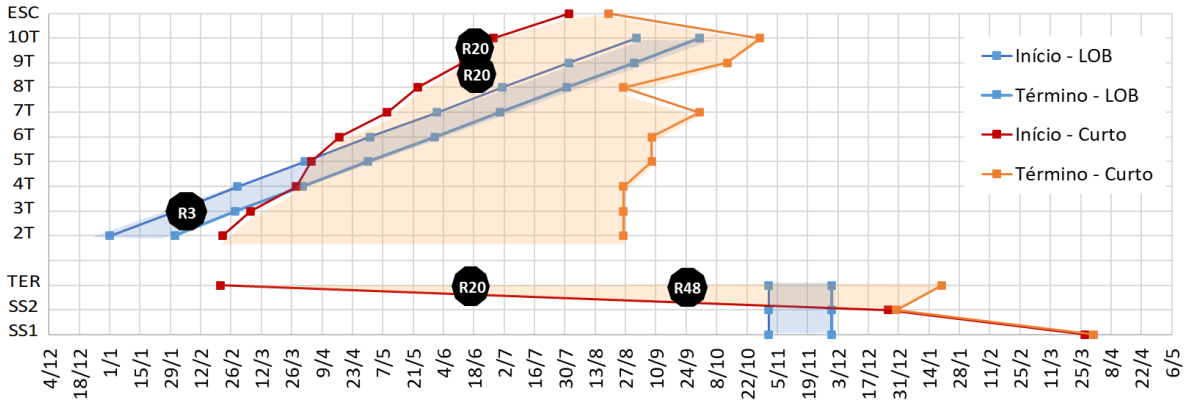
Figura 75 – programação de longo e médio prazo



Fonte: elaborado pela autora.

Para compreender as razões dessas reprogramações, a Figura 76 e o Quadro 53 apresentam as restrições que afetaram o processo ao longo do período analisado. A Figura 76 localiza as restrições no tempo e no espaço, enquanto o Quadro 53 descreve seus atributos — data de identificação, data limite e data de remoção.

Figura 76 – identificação de restrições



Fonte: elaborado pela autora.

Entre as restrições destacam-se a R3, registrada no MP1, que indicava a necessidade de reforçar a equipe de reboco interno e impactou diretamente o 2T; a R20, relacionada à contratação de tarefeiros, que afetou simultaneamente os pavimentos 9T, 10T e térreo; e a R48, referente ao recebimento do projeto de interiores. Essas ocorrências, de naturezas distintas — operacionais e informacionais —, evidenciam a necessidade de coordenação mais integrada entre áreas de produção, suprimentos e projeto, uma vez que a remoção de restrições em um domínio não necessariamente elimina os efeitos de interdependências em outro.

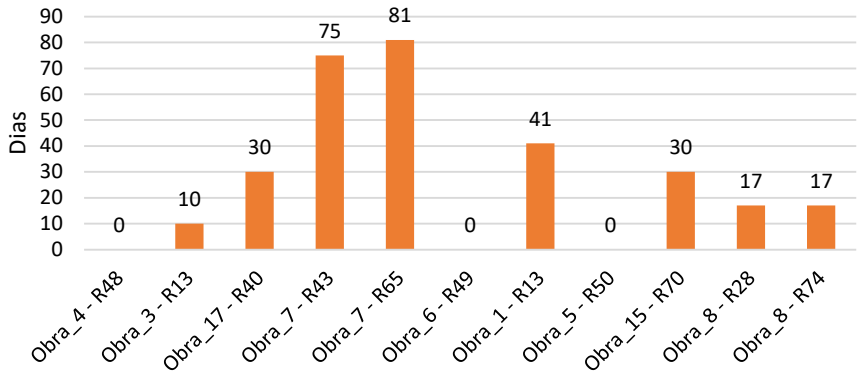
Quadro 53 - restrições identificadas e registradas

ID	Descrição da causa ou restrição	Data de identificação	Data limite	Data de remoção
Obra_4-R3	Aumentar equipe de reboco interno	MP1 (06/01)	18/02/22	18/02/22
Obra_4-R20	Contratação de mais tarefeiros para reboco interno e externo	MP5 (27/06)	24/06/22	08/08/22
Obra_4-R48	Receber projeto de interiores - (hall/salão de festas) gesso	MP8 (26/09)	14/10/22	14/10/22

Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 77 amplia a análise ao calcular o desvio (em dias) entre a data-limite e a data efetiva de remoção das restrições de projeto de interiores, permitindo comparações entre obras. Os maiores desvios ocorreram nas obras 7_R65 e 7_R43 (81 e 75 dias, respectivamente), enquanto casos como Obra_4_R48 e Obra_6_R49 foram removidos dentro do prazo. Esses resultados reforçam que restrições de projeto impactam significativamente a fluidez da produção quando não removidas em tempo hábil.

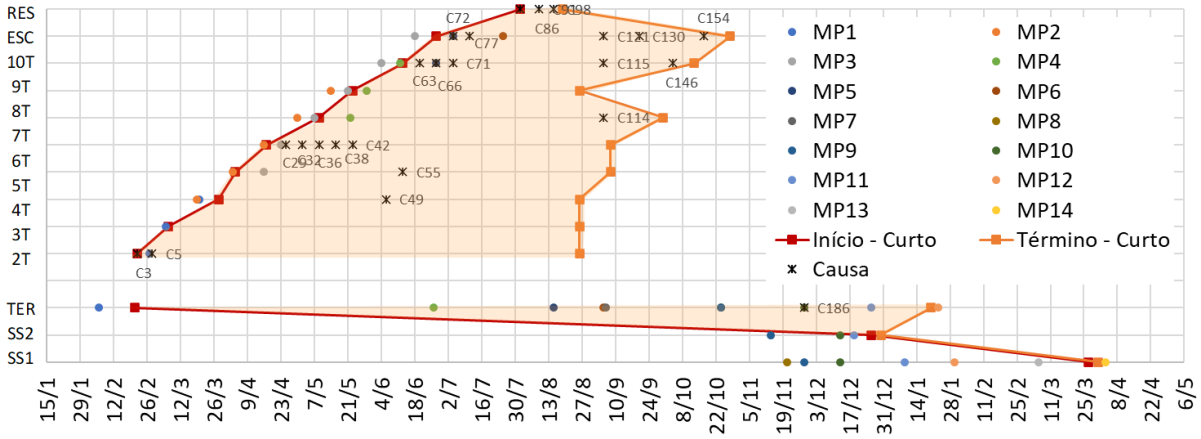
Figura 77 – desvio de resolução de restrições de projeto de interiores das obras



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 78 e o Quadro 54 relacionam agora as causas registradas no banco de dados com a programação do médio prazo, permitindo visualizar onde e quando ocorreram os principais impactos. A Figura 78 combina as datas de programação do MP com as datas das causas identificadas, destacando o acúmulo de ocorrências em pavimentos específicos — como 6T, 9T e 10T — que concentraram situações de baixa produtividade, falta de mão de obra e mudanças de plano

Figura 78 – programação do médio e identificação de causas



Fonte: elaborado pela autora.

Essa combinação de restrições e causas permite compreender os fatores que comprometem a estabilidade dos pacotes de trabalho. Em locais com acúmulo de causas, observa-se que a segmentação inicial foi insuficiente para absorver a variabilidade da execução, indicando necessidade de revisar a estrutura de pacotes. Em frentes não previstas inicialmente no longo

prazo — como circulação e escadaria — a presença recorrente de causas também sugere a importância de incorporar essas áreas ao sistema formal de controle.

Quadro 54 – causas identificadas

ID	Descrição da causa ou restrição	Local	Data de identificação	Data de conclusão
C3	Baixa Produtividade	2T	21/02/2022	04/03/2022
C5	Falta de mão de obra	2T	28/02/2022	11/03/2022
C29	Chuva	6T	25/04/2022	06/05/2022
C32	Chuva	6T	02/05/2022	13/05/2022
C36	Chuva	6T	09/05/2022	20/05/2022
C38	Mudança de Plano	6T	16/05/2022	27/05/2022
C42	Chuva	6T	23/05/2022	03/06/2022
C49	Falta de mão de obra	4T	06/06/2022	17/06/2022
C55	Predecessor não concluído	5T	13/06/2022	24/06/2022
C63	Mudança de Plano	9T	20/06/2022	01/07/2022
C66	Mudança de Plano	9T	27/06/2022	08/07/2022
C71	Mudança de Plano	9T	04/07/2022	15/07/2022
C72	Falta de mão de obra	10T	04/07/2022	15/07/2022
C77	Falta de mão de obra	10T	11/07/2022	22/07/2022
C86	Chuva	ESC	01/08/2022	12/08/2022
C91	Chuva	ESC	15/08/2022	26/08/2022
C98	Falta de mão de obra	ESC	15/08/2022	26/08/2022
C114	Baixa Produtividade	7T	05/09/2022	16/09/2022
C115	Baixa Produtividade	9T	05/09/2022	16/09/2022
C121	Absenteísmo	10T	05/09/2022	16/09/2022
C130	Absenteísmo	10T	19/09/2022	30/09/2022
C146	Baixa Produtividade	9T	03/10/2022	14/10/2022
C154	Interferência com outro serviço	10T	17/10/2022	28/10/2022
C186	Falta de mão de obra	TER	28/11/2022	09/12/2022

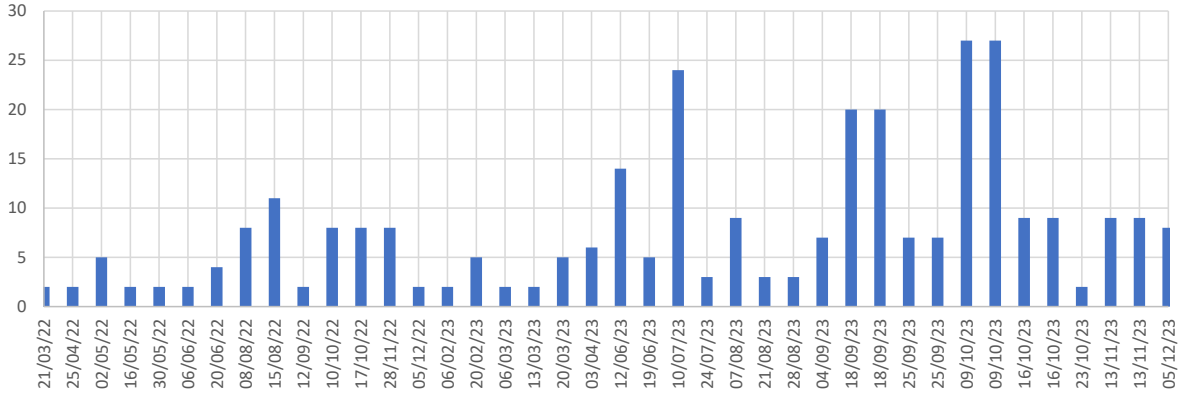
Fonte: elaborado pela autora.

Por fim, a Figura 79 sintetiza as análises por tipo de causa, agora em perspectiva entre obras. A parte (a) apresenta a frequência de causas do tipo chuva ao longo do tempo, enquanto a parte (b) agrupa as ocorrências de falta de mão de obra especificamente no processo de reboco interno, comparando entre diferentes obras.

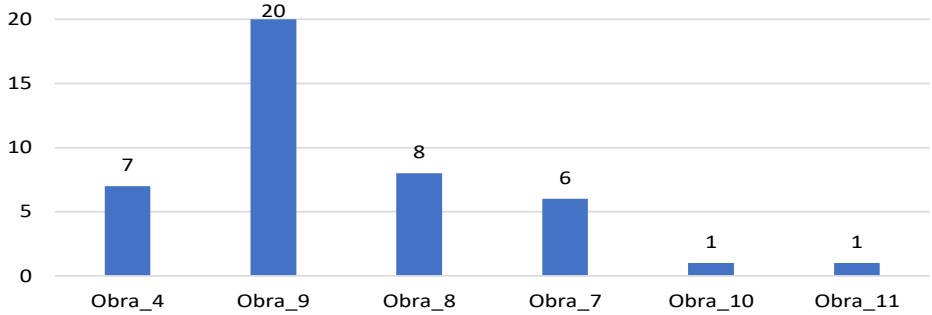
Os resultados demonstram que os dados extraídos do sistema de controle da produção — programações, restrições, causas e registros de execução — não apenas descrevem desvios, mas fornecem informações contextualizadas para o aprimoramento das unidades de controle ao longo do tempo. Essa retroalimentação contínua materializa a relação entre o a contextualização

semântica (C4) e o a unidade de controle (C1), evidenciando a transição de um modelo prescritivo para um sistema de planejamento adaptativo e orientado por aprendizagem organizacional.

Figura 79 – análise entre obras por tipo de causa



(a) frequência de atribuições impactada por chuva (310 registros)



(b) frequência de falta de mão de obra de reboco interno por obra (43 registros)

Fonte: elaborado pela autora.

A sistematização das consultas realizadas, conforme detalhado no Quadro 55 , evidencia o potencial analítico da estrutura de dados semânticos adotada no EE2. A combinação de atributos como plano, processo, local, tipo de causa e datas de ciclo permitiu realizar cruzamentos complexos e visualizações contextuais. Ao integrar essas consultas a representações visuais e análises longitudinais, a organização passou a contar com um sistema de informação capaz de sustentar decisões táticas e operacionais. Esse encadeamento lógico entre os dados registrados e a tomada de decisão reforça o elo entre unidade de controle e contextualização das informações, ao transformar registros operacionais em insumos para reconfiguração contínua do planejamento. A modelagem semântica proposta, portanto, não apenas padroniza o vocabulário, mas viabiliza uma lógica de planejamento dinâmico, orientada por dados e capaz de aprender com os padrões históricos da produção.

Quadro 55 – resumo das consultas realizadas nessa sessão

Figura/Tabela	Consulta Realizada	Tabelas (Atributos) e Relações	Finalidade da Consulta
Figura 73 - metadados da programação de atribuição por plano	Consulta do número de pacotes de trabalho programados por tipo de plano em cada local, filtrando o processo "Reboco Interno" na Obra 4	Ciclos de controle (tipo) → Atribuição (tipo)	Mapear o padrão de programação de um pacote de trabalho ao longo do tempo, com base na segmentação espacial e por processo de uma obra
Quadro 52 - fluxo de trabalho do reboco interno no 2 pavimento	Filtro das atribuições em escrita livre vinculadas ao processo de Reboco Interno do segundo pavimento	Atribuição (processo + local)	Demonstrar o desdobramento de um pacote em múltiplas instâncias operacionais detalhadas pelas facetas
Figura 74 - planejado vs. executado	Busca das datas prevista na LOB e a data real de execução, filtrando o processo Reboco Interno na Obra 4 em diferentes locais	Atribuição (data início e término) + Ciclos de Controle (tipo)	Visualização previsto versus realizado do de um pacote de trabalho com base na segmentação espacial e por processo de uma obra
Figura 75 - programação de longo e médio prazo	Busca das datas prevista na LOB e as datas de programação no médio prazo, filtrando o processo Reboco Interno na Obra 4 em diferentes locais	Atribuição (data início e término) + Ciclos de Controle (tipo)	Visualização previsto versus programado no médio prazo do de um pacote de trabalho com base na segmentação espacial e por processo de uma obra
Figura 76 - identificação de restrições	Mesmo da figura 13 + busca das datas identificadas das restrições do processo de reboco interno na obra 4	Restrições (plano) → Atribuição → Ciclos de Controle (data realizada)	Evidenciar os impactos da identificação das restrições no previsto (LOB) e realizado
Quadro 53 - restrições identificadas e registradas	Busca das restrições relacionadas ao processo de reboco interno com atributos de data de identificação, limite e remoção	Restrições (datas e descrição)	Evidenciar os atributos registrados na base de dados para as restrições
Figura 77 - desvio de resolução de restrições de projeto de interiores das obras	Filtro das restrições de projeto de interiores, cálculo do desvio (em dias) entre a data-limite e a data efetiva de remoção de restrições segmentada por obras	Restrições (data_limite, data_remoção e Obra)	Comparar a capacidade de resolução das restrições de projeto de interiores entre obras
Figura 78 - programação do médio e identificação de causas	Busca das datas de programação no médio prazo + busca das datas identificadas das causas, filtrando o processo Reboco Interno na Obra 4 em diferentes locais	Atribuição (data início e término) + Ciclos de Controle (tipo) + Causas (data) → Atribuição (6RIN)	Evidenciar os impactos da identificação das causas na programação de médio prazo
Quadro 54 - causas identificadas	Busca das causas relacionadas ao processo de reboco interno	Causas (de descrição, local e datas) → Atribuição (6RIN)	Evidenciar os atributos registrados na base de dados para as causas
Figura 79 - análise entre obras por tipo de causa (a)	Consulta do número de atribuições impactada por causas de tipo Chuva por data da atribuição	Causas (filtro tipo = “Chuva” + data da identificação)	Identificar o impacto das chuvas ao longo do tempo
Figura 79 - análise entre obras por tipo de causa (b)	Consulta do número de causa por Falta de mão de obra em atribuições de reboco interno por obra	Causas (filtro tipo = “Falta de mão de obra” + obra) → Atribuição (6RIN)	Comparar a frequência de falta de mão de obra de reboco interno por obra

Fonte: elaborado pela autora.

Raquel Hoffmann Reck (raquelreck@gmail.com). Porto Alegre: UFRGS/EE/PPGCI, 2025

6.3 ARTEFATO DESENVOLVIDO NO EE2

A Quadro 56 apresenta uma síntese dos avanços observados na aplicação dos quatro constructos durante o EE2. No EE1, foi conduzido um estudo retrospectivo com o objetivo de aplicar os constructos propostos neste trabalho a dois estudos de caso da empresa N. Já no EE2, observa-se uma transição gradual de um ambiente voltado ao diagnóstico organizacional e à implementação do sistema simplificado — com intensa mediação da pesquisadora — para um contexto de aplicação institucional, no qual o sistema de controle passou a ser operado de forma autônoma pelas equipes da empresa. O foco, que no EE1 estava na exploração conceitual das facetas, passou no EE2 para a consolidação de um modelo simplificado, compatível com os recursos disponíveis e com as rotinas do LPS que a organização foi orientada a implantar.

Quadro 56 – avanços alcançados por constructo no EE2

Constructo	Descrição Conceitual	Operacionalização no EE2
Unidade de controle facetada (C1)	Define os pacotes de trabalho como combinação entre processo, elemento e local	Implementado com facetas de processo e local, estruturadas por códigos padronizados e aplicadas em todos os níveis de planejamento
Terminologia controlada (C2)	Utiliza vocabulários normatizados e padronizados para descrever as facetas	Desenvolvido um vocabulário interno controlado por tipologia, parametrizado por impacto econômico (orçamento) e área construída, mas sem uso de normas como OmniClass™
Hierarquia das unidades de controle (C3)	Estabelece níveis de agregação para pacotes de trabalho e organização	Hierarquia presente na descrição livre de forma informal e aplicada a estrutura relacional estruturando a hierarquia da organização e unidade de controle
Contextualização semântica (C4)	Organiza os dados de status de produção em base relacional para rastreabilidade e aprendizagem	Implementado com o sistema de controle simplificado, incluindo protocolos de troca entre níveis e comparação entre obras. Também foi realizado consultas explorando o uso como prova de conceito.

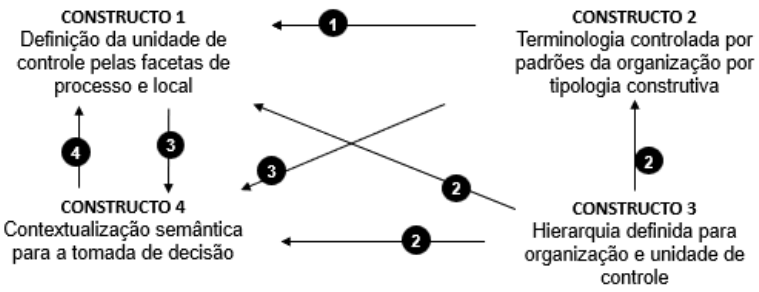
Fonte: elaborado pela autora.

Dessa forma, algumas adaptações do artefato foram realizadas. A principal diferença em relação ao EE1 está na redução da dimensionalidade do modelo, limitando as facetas de unidade de controle às dimensões de processo e local (C1). Essa simplificação foi uma decisão estratégica para ampliar a adesão dos engenheiros de obra, sem comprometer a coerência semântica e a comparabilidade entre obras. Além disso, o vocabulário controlado (C2) foi desenvolvido internamente pela organização, substituindo normas internacionais (como OmniClass™) por uma terminologia parametrizada por tipologia construtiva, impacto econômico e área

construída. O constructo de hierarquia (C3) foi formalizado no modelo relacional, estruturado em dimensões no âmbito da organização, de unidade de controle e dos planos do LPS, assegurando consistência semântica e rastreabilidade entre níveis e obras. Já o constructo de contextualização semântica (C4) foi amplamente explorado, consolidando-se como a base para comparação entre obras e entre níveis de planejamento, sustentado pelos relatórios integrados em BI, pelos protocolos de troca de informação (Capitulo 5) e pela exploração de consultas realizadas neste capitulo 6.

A Figura 80 ilustra o modelo relacional entre os constructos, evidenciando as interações que sustentam a aprendizagem organizacional a partir dos dados de produção. Nela, as setas indicam o fluxo de dependência conceitual e operacional entre os constructos, que são apresentadas de forma resumida no Quadro 57.

Figura 80 – modelo relacional entre constructos



Fonte: elaborada pela autora.

A primeira relação evidencia que a integração entre estrutura facetada (C1) e terminologia controlada (C2) possibilitou a formalização do sistema simplificado utilizadas nos três níveis de planejamento. Essa padronização deu origem a rotinas consolidadas, como a reunião semanal de curto prazo com plano de ação de causas e a reunião mensal de médio prazo com base na lista de restrições, promovendo ciclos de controle mais responsivos e orientados por dados.

A segunda relação demonstra que a articulação entre unidade de controle (C1) e vocabulário controlado (C2) permitiu consolidar os dados estruturados e contextualizados semanticamente (C4), viabilizando a criação de um relatório integrado de obras no Power BI. Esse relatório, em conjunto com os protocolos de troca de informação entre níveis de planejamento, como o Protocolo 7, possibilitou a comparação entre datas previstas e reais por processo e local, ampliando a visibilidade gerencial e fortalecendo a retroalimentação das decisões.

Quadro 57 – descrição das relações entre constructos no EE1

Relação	Constructos relacionados	Consequência
1	Dependência das unidades de controle (C1) em relação a terminologia controlada (C2)	O uso de um vocabulário comum entre níveis de planejamento e obras promoveu padronização organizacional, enquanto as descrições livres preservaram a flexibilidade local.
2	Articulação entre unidade de controle (C1) e vocabulário controlado (C2) com dados semanticamente estruturados e contextualizados (C4)	Possibilitou a formalização do sistema simplificado e a padronização dos registros de produção, tornando o processo de coleta e análise mais ágil e confiável.
3	Hierarquia definida para organização e unidade de controle (C3)	Combina hierarquia no âmbito da organização e da unidade de controle, articuladas ao eixo temporal do LPS. Viabiliza detalhamento ou agrupamento de metas e dados entre níveis e obras, preserva a integridade semântica (C1/C2) e apoia comparações longitudinais e transversais para retroalimentar o sistema (C4).
4	Dados contextualizados (C4) retroalimentam a definição das unidades de controle (C1)	Fechou o ciclo de aprendizagem: a unidade de controle passou a ser não apenas um instrumento de programação, mas também um indicador da capacidade organizacional de aprender com a própria produção.

Fonte: elaborado pela empresa.

A terceira relação (C3) evidencia o papel da hierarquia como elemento articulador entre os diferentes níveis de planejamento e entre obras. Essa hierarquia combina dois eixos complementares. O eixo organizacional, baseado em vocabulários controlados e compatível com esquemas de classificação como IFC 4.0 e OmniClass™, e o eixo da unidade de controle, derivado das estratégias produtivas específicas de cada projeto. Ambos são integrados ao eixo temporal dos planos do LPS, formando uma estrutura relacional que conecta estrutura, contexto e tempo.

Essa combinação permite agregar e desagregar metas de produção de forma estruturada, mantendo a coerência semântica entre planos, relatórios e níveis hierárquicos. A hierarquia, nesse sentido, atua como um mecanismo de transição entre os níveis estratégico, tático e operacional, conectando a definição das metas organizacionais à execução no canteiro e consolidando as informações produzidas no campo em uma base de dados relacional única. Essa estrutura viabiliza comparações longitudinais e transversais entre obras e horizontes de planejamento, além de fortalecer a retroalimentação dos ciclos de controle, permitindo que os usuários do sistema de produção possam ajustar metas continuamente com base em seus próprios resultados.

Por fim, a quarta relação fecha o ciclo de aprendizagem, ao demonstrar que os dados contextualizados (C4) retroalimentam a definição das unidades de controle (C1). A análise dos status de produção por processo e local permitiu avaliar a efetividade da segmentação adotada e ajustar a granularidade conforme a criticidade das atividades. Desse modo, a unidade de controle passou a ser também um indicador da capacidade organizacional de aprender com sua própria produção, transformando o modelo relacional em uma estrutura dinâmica de medição da aprendizagem organizacional.

6.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO NO EE2

A avaliação do artefato desenvolvido no EE2 tem como objetivo verificar a efetividade do modelo relacional proposto no apoio à estruturação, consolidação e retroalimentação das unidades de controle a partir de dados empíricos oriundos de múltiplas obras. Diferentemente do EE1, em que o foco estava na verificação da completude da estrutura facetada e na aderência a terminologias normativas, o EE2 consolidou a aplicação prática do sistema em escala organizacional, com especial ênfase na utilização dos dados para aprendizagem e ajustes estruturais das unidades de controle ao longo do ciclo de produção.

O Constructo 1, que define o pacote de trabalho como a combinação entre processo e local, foi o núcleo estruturante da implementação do sistema simplificado adotado no EE2. Por ter sido condição obrigatória na lógica do sistema, todos os pacotes de trabalho foram registrados com essa combinação, resultando em 100% de cobertura, sem necessidade de avaliação adicional quanto à sua completude. Neste contexto, a adoção do Constructo 1 funcionou como pré-requisito da base de dados, consolidando-se como um pressuposto da estrutura relacional e não como um critério de avaliação.

Já o Constructo 2, relativo à adoção de uma terminologia controlada para descrever as facetas dos pacotes de trabalho, também não foi objeto de avaliação direta no EE2. Esse resultado decorre de que a estrutura terminológica utilizada foi desenvolvida e validada internamente pela própria organização, com base em sua experiência prévia e em um vocabulário já consolidado nas práticas da empresa. Assim, embora sua aplicação tenha sido fundamental para garantir a coerência e interoperabilidade entre planos e obras, a avaliação de sua precisão ou impacto seria irrelevante, dado que os termos controlados já estavam alinhados ao contexto e às práticas organizacionais.

6.4.1 Quanto a Hierarquia das Unidades de Controle

A avaliação da hierarquia de unidade de controle revela a importância das facetas de processo e local como base para a organização das unidades de controle e sua articulação com as diferentes camadas de planejamento. Ao contrário da análise conduzida no EE1 — centrada na aderência a normas padronizadas como OmniClass™ e IFC — a abordagem adotada nesta etapa privilegia a flexibilidade e adaptabilidade exigidas pela lógica produtiva do canteiro, especialmente quando se utiliza o modelo da Linha de Balanço (LOB) como estratégia de organização da produção.

Nesse contexto, a definição dos processos e locais de produção está diretamente relacionada à segmentação física e funcional do trabalho, sendo a atribuição dos pacotes de trabalho o elo que conecta essas duas facetas. Quando se adota a LOB, os processos são sistematicamente distribuídos entre diferentes locais já no planejamento de longo prazo, servindo de referência para a cadência e o sequenciamento das equipes nos planos seguintes.

A lógica do LPS, contudo, pressupõe que os planos táticos e operacionais sejam ajustados conforme as condições reais de execução, o que frequentemente exige o detalhamento progressivo das unidades de controle à medida que a produção avança — comportamento evidenciado na Tabela 12.

Tabela 12 – nível de detalhamento e agrupamento das unidades de controle

Tipo		**Médio Prazo**		**Curto Prazo**		**Total**	
Detalhamento	**Mista**	181	077%	508	2,16%	689	2,93%
	Processo	809	3,44%	2696	11,47%	3505	14,91%
	Local	1209	5,14%	3598	15,31%	4807	20,45%
Total detalhamento		**2199**	**9,36%**	**6802**	**28,94%**	**9001**	**38,30%**
Agrupamento	**Mista**	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Processo	20	0,09%	13	0,06%	33	0,14%
	Local	734	3,12%	1505	6,4%	2239	9,53%
Total agrupamento		**754**	**3,21%**	**1518**	**6,46%**	**2272**	**9,67%**
Total de UC		**9907**	**42,15%**	**13595**	**57,85%**	**23502**	

Fonte: elaborado pela autora.

Os dados mostram que o detalhamento das unidades de controle representa 38,30% do total, com 9,36% no médio prazo e 28,94% no curto prazo. Essa diferença indica a intensificação do detalhamento à medida que os planos se aproximam da execução, confirmando a função do curto prazo como principal instância de refinamento das metas produtivas.

Entre as facetas, observa-se predominância da dimensão local, responsável por 20,45% das unidades de controle detalhadas, seguida pela faceta processo, com 14,91%, e pela combinação mista das facetas, com 2,93%. Esse comportamento demonstra que o modelo privilegia o detalhamento espacial como eixo principal de controle, o que reforça a importância do local na estrutura hierárquica das unidades de controle.

O aumento expressivo das unidades de controle detalhadas entre o médio e o curto prazo confirma que o artefato foi capaz de capturar a premissa central do LPS: o detalhamento deve acompanhar o avanço do conhecimento sobre o canteiro e as condições de produção. Esse detalhamento progressivo é formalmente registrado no modelo ERD, por meio da criação e atualização das classes das facetas (como as entidades Faceta Processo/Local), que permitem representar diferentes níveis de granularidade, que posteriormente são combinados nas unidades de controle. Essa estrutura relacional flexível possibilita a representação de segmentações em múltiplos níveis, assegurando que as metas de produção se tornem cada vez mais específicas e contextualizadas. O refinamento progressivo das unidades de controle, ao ser incorporado na base de dados relacional, contribui diretamente para o controle mais preciso da produção e para a coordenação entre equipes e frentes de trabalho, fortalecendo a rastreabilidade e a aprendizagem organizacional.

Por outro lado, 9,67% das UCs sofreram agrupamento, sendo 3,21% no médio prazo e 6,46% no curto prazo. Essa proporção é bem menor que a de detalhamento, mas ainda relevante, indicando que o sistema também foi utilizado para generalização de pacotes quando ajustes de escopo ou replanejamentos foram necessários.

A faceta local concentra praticamente todos os agrupamentos (9,53% do total), o que sugere que a generalização espacial ocorre quando há necessidade de readequação das áreas produtivas ou redistribuição de equipes. O agrupamento da faceta processo é residual (0,14%) e inexistente nas facetas mistas, evidenciando que a simplificação ocorreu predominantemente na dimensão espacial, não de processo para os dados do EE2.

Embora o agrupamento represente um movimento oposto ao detalhamento, sua ocorrência demonstra que o sistema é capaz de acomodar agrupamento sem perda de coerência semântica, já que estas relações estão formalizadas no modelo relacional. Essa estrutura de grupos assegura que as informações agregadas mantenham vínculo com suas instâncias originais, preservando a rastreabilidade entre níveis e obras.

Comparando com os achados do EE1, nota-se que a estrutura baseada em normas internacionais foi útil para garantir a coerência e a interoperabilidade, mas mostrou-se limitada para representar a lógica prática da produção. Já no EE2, ao adotar uma estrutura hierárquica combinada entre facetas e unidades de controle (Constructo 3), o modelo demonstrou capacidade de representar tanto a aderência ao plano original quanto os ajustes introduzidos pelo detalhamento e agrupamento, assegurando completude na representação das metas de produção.

A avaliação do artefato evidencia que o modelo desenvolvido oferece uma base robusta e adaptável para representar hierarquias, promovendo a convergência entre planejamento prescritivo e aprendizagem empírica. O comportamento observado confirma o papel das facetas como variáveis dinâmicas no ciclo de planejamento e controle, exigindo abordagens que combinem padronização inicial (via LOB) com mecanismos de detalhamento e agrupamento responsivos (via LPS). Esse equilíbrio é essencial para sustentar a transição fluida entre os níveis estratégico, tático e operacional, mantendo a integridade semântica do sistema e favorecendo a consolidação dos dados para fins de análise e melhoria contínua.

6.4.2 Quanto a Contextualização Semântica dos Dados

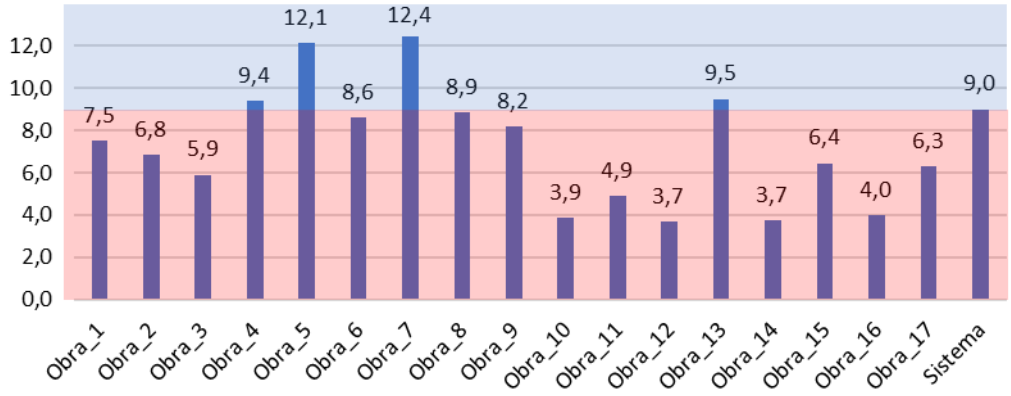
A taxa de contextualização semântica foi desenvolvida nesta pesquisa como um indicador do grau de estruturação relacional dos pacotes de trabalho no sistema de planejamento e controle. Esse indicador reflete o nível de integração dos pacotes em um sistema simplificado de dados semanticamente conectados, permitindo análises transversais entre obras e rastreabilidade longitudinal dos planos ao longo do tempo.

O cálculo é obtido pela razão entre o total de vínculos contextuais existentes e o número total de pacotes de trabalho cadastrados. No sistema proposto, são considerados nove vínculos contextuais possíveis, que representam as relações capazes de situar semanticamente os dados dentro do ambiente de controle, descritas em sessão anterior.

Dessa forma, cada obra pode utilizar o sistema com diferentes níveis de profundidade. A taxa de contextualização permite, portanto, avaliar simultaneamente a completude dos registros e a riqueza informacional da base de dados gerada por obra. A Figura 81 apresenta a taxa de contextualização semântica obtida por projeto, comparada com o valor máximo possível do ERD proposto.

Análise da figura revela diferenças expressivas entre os projetos avaliados. As obras 5 e 7 apresentaram as maiores taxas, seguidas das obras 4, 8 e 13, ultrapassando o limite máximo teórico (9) e indicando integração avançada entre os vínculos contextuais. Nessas obras, os pacotes de trabalho estão amplamente conectados aos dados contextuais, o que sugere maturidade no uso do sistema e uso consistente das facetas de processo e local como eixos estruturantes das consultas.

Figura 81 – taxa de contextualização semântica



Fonte: elaborado pela autora.

Por outro lado, as obras 10, 11, 12, 14 e 16 registraram as menores taxas, evidenciando baixa inserção dos pacotes de trabalho contextualizados no modelo relacional. Essa variação reflete não apenas o estágio de implementação técnica, mas também o nível de apropriação das ferramentas e a maturidade dos processos de planejamento em cada projeto. Projetos com menor taxa tendem a operar com registros isolados ou incompletos, restringindo o potencial de consulta e dificultando o aprendizado organizacional a partir dos dados.

Assim, quanto maior a taxa de contextualização semântica, maior é o potencial do sistema em apoiar decisões integradas, uma vez que os pacotes de trabalho passam a estar semanticamente posicionados dentro de uma rede de significados. A presença desses vínculos indica que os dados não são apenas registrados, mas interpretáveis dentro de seu contexto produtivo,

possibilitando consultas por múltiplos eixos (processo, local, ciclo de controle, causa ou restrição) e ampliando a capacidade analítica da organização.

Os achados do EE2 fortalecem e complementam os resultados do EE1 quanto à aplicação da contextualização semântica (C4). No EE1, embora a estrutura conceitual estivesse delineada, sua aplicação era incipiente: os pacotes de trabalho foram apenas classificados semanticamente, sem inserção ativa em ciclos de controle. Já no EE2, a taxa de contextualização semântica operou como métrica empírica, permitindo avaliar a efetividade dos vínculos criados e a capacidade do modelo ERD em viabilizar consultas contextualizadas.

Além disso, a heterogeneidade entre os projetos reforça que a simples existência de um modelo relacional não garante a efetividade da contextualização dos dados. Obras com alta taxa de contextualização evidenciam o potencial do artefato para apoio à gestão e à tomada de decisão, enquanto aquelas com taxas mais baixas demonstram a necessidade de capacitação contínua, rotinas de atualização e políticas de governança da dados para assegurar a consolidação e o uso sustentável da base de dados.

7 APRESENTAÇÃO DO ARTEFATO

O presente capítulo apresenta o artefato desenvolvido nesta pesquisa, consolidando os resultados obtidos ao longo dos Estudos Empíricos e formalizando-os sob a lógica da DSR. Os capítulos anteriores evidenciaram, de forma progressiva, as limitações do sistema vigente de PCP na empresa N até a aplicação retrospectiva dos constructos (Capítulo 4), a implantação e organização de uma nova estrutura de dados baseada em facetas e unidades de controle na empresa F (Capítulo 5) e a avaliação de seu uso em contexto real, com suporte de consultas no modelo relacional e indicadores de contextualização semântica (Capítulo 6). A partir dessa trajetória iterativa, o artefato é aqui descrito de forma integrada, contemplando seus constructos conceituais, o modelo conceitual que os relaciona e o modelo operacional que viabiliza sua aplicação prática.

7.1 VISÃO GERAL DO ARTEFATO

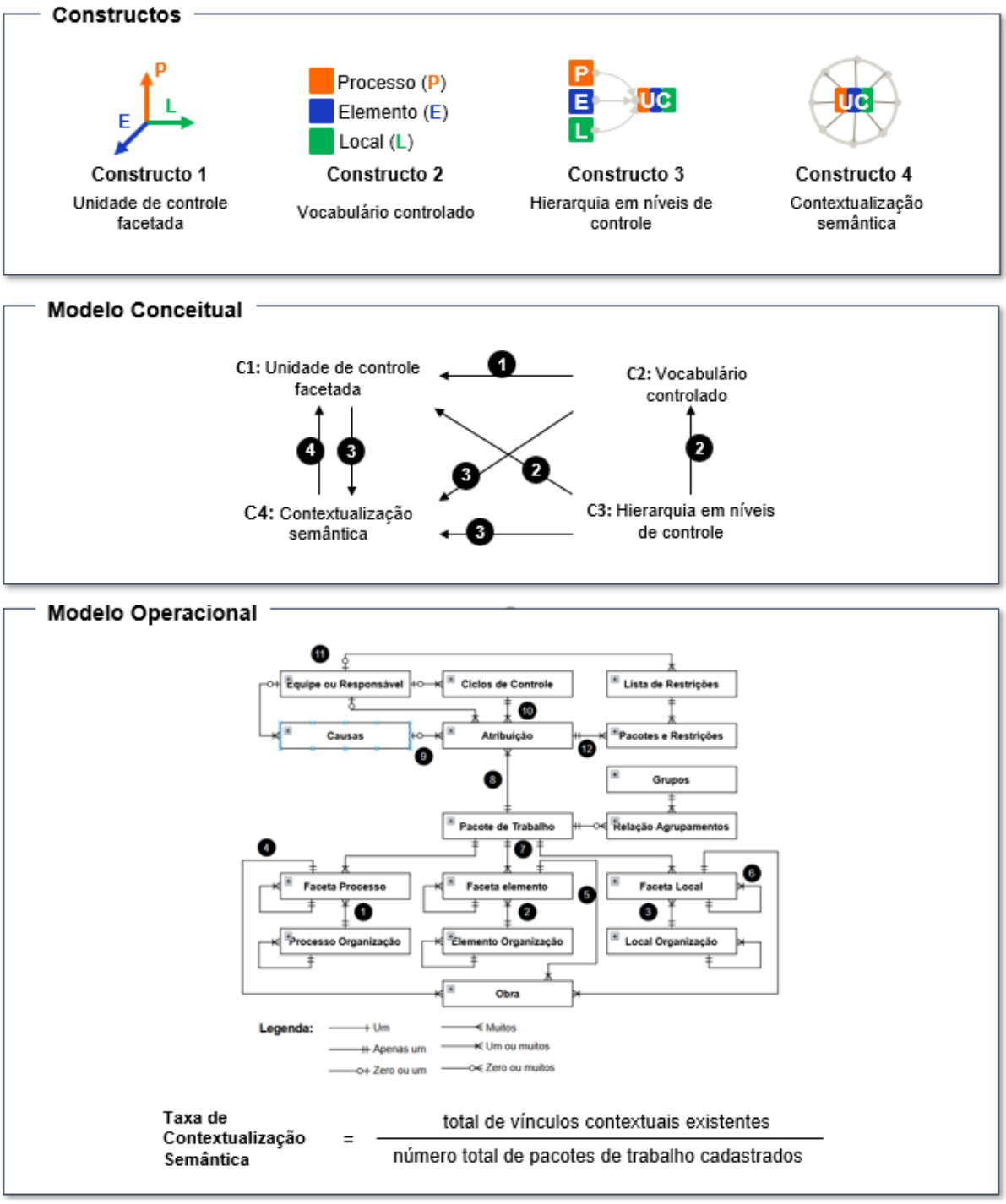
O artefato proposto consiste em um modelo semântico de dados para planejamento e controle da produção em projetos de construção, estruturado para dar suporte a aprendizagem organizacional a partir da interpretação de dados históricos contextualizados semanticamente transformado em informação. A Figura 82 apresenta a estrutura geral do artefato, organizada em três níveis interdependentes:

a) Constructos conceituais: quatro elementos fundamentais que definem a linguagem formal do domínio do artefato;
b) Modelo conceitual: com a representação das relações entre os constructos, explicitando como a unidade de controle, o vocabulário controlado e a hierarquia se articulam para gerar registros interoperáveis, semanticamente coesos e para promover a aprendizagem organizacional;
c) Modelo operacional: implementação do modelo conceitual em um esquema relacional, incorporando entidades, relacionamentos, propriedades e métricas que permitem consultas comparativas entre múltiplos projetos e diferentes níveis de planejamento.

A concepção deste artefato foi orientada pelo pressuposto de que a estruturação semântica dos dados de controle é condição essencial para transformar registros dos dados de controle da produção em conhecimento aplicável à melhoria contínua. Sob a ótica da sociomaterialidade, o artefato é compreendido como um aparato que materializa a agência distribuída entre pessoas

e tecnologia, onde o sistema de controle não apenas armazena dados, mas atua na constituição das práticas que dão sentido a esses dados. ada registro, consulta e visualização representa uma forma de construção da realidade, isto é, uma maneira específica de ativar e reinterpretar a estrutura de controle na prática cotidiana.

Figura 82 – estrutura geral do artefato.



Fonte: elaborada pela autora.

Assim, o artefato não deve ser entendido apenas como uma ferramenta informacional, mas como uma infraestrutura sociomaterial que media decisões e aprendizagens. Ao ser mobilizado nas rotinas de planejamento e controle, ele conecta agentes, pacotes de trabalho e contextos de produção, produzindo padrões de visibilidade e coordenação que sustentam a confiabilidade do sistema. Nessa perspectiva, a tecnologia e os agentes humanos se co-constituem: o artefato molda as práticas de controle ao mesmo tempo em que é reconfigurado pelo uso e pelas interpretações que dele emergem.

Ao longo da DSR, cada componente foi validado em situações reais de uso. No EE1, por meio da classificação e análise de dados de obras concluídas. Já no EE2, por meio da implantação, uso e avaliação do sistema em um conjunto de projetos ativos. Dessa forma, o artefato sintetiza não apenas um conjunto de definições conceituais, mas uma prática sociomaterial de organização da informação, na qual as rotinas do LPS são formalizadas digitalmente, favorecendo coordenação, compromisso e aprendizagem organizacional.

7.2 CONSTRUCTOS

O desenvolvimento do artefato partiu da identificação de quatro constructos centrais, que traduzem requisitos conceituais e operacionais necessários para estruturar a unidade de controle e viabilizar sua interoperabilidade semântica no contexto do LPS com suporte do BIM. Esses constructos foram definidos e refinados a partir das evidências empíricas coletadas nos Estudos Empíricos 1 (EE1) e 2 (EE2), cuja aplicação permitiu validar sua utilidade e ajustar sua forma de representação.

7.2.1 Unidade de controle pela combinação de facetas (C1)

O primeiro constructo estabelece que a unidade de controle deve ser composta por uma combinação de facetas, permitindo que os dados programados no LPS sejam analisados de forma comparável e consolidada. No EE1, esse princípio foi validado pela análise de dados de obras concluídas utilizando as três facetas previstas (processo, local e elemento). No EE2, a aplicação concentrou-se nas facetas de processo e local, demonstrando a viabilidade de simplificações quando determinadas dimensões, como o elemento, não são necessárias ou viáveis devido à ausência de modelagem BIM.

7.2.2 Vocabulário controlado para expressar as facetas (C2)

O segundo constructo define que cada faceta da unidade de controle deve ser codificada a partir de um vocabulário controlado, garantindo coesão semântica entre diferentes planos e ciclos de controle, ao mesmo tempo que permite comparações entre obras. No EE1, essa padronização foi aplicada na classificação retrospectiva de dados de obras finalizadas; no EE2, a codificação foi incorporada diretamente aos pacotes de trabalho nos planos de longo, médio e curto prazo, assegurando consistência na programação.

7.2.3 Hierarquia em diferentes níveis de controle (C3)

O terceiro constructo define que o sistema de controle deve operar em três hierarquias complementares para assegurar coerência entre dados, decisões e ciclos de planejamento. Estas são:

a) a hierarquia no âmbito da organização, que organiza a base estável de padronização entre obras, com vocabulários controlados ou códigos derivados de normas (OmniClass™, IFC, ISO 12006);
b) a hierarquia da unidade de controle, que **organiza** a estratégia de produção em pacotes de trabalho, ajustando-se ao contexto de cada obra;
c) a hierarquia dos planos do LPS, que organiza o detalhamento progressivo no tempo garantindo retroalimentação contínua das decisões.

Essas hierarquias evoluíram progressivamente ao longo dos estudos. No EE1 (etapa 1), observou-se uma forte sobreposição entre as facetas e a hierarquia organizacional, resultando em baixa precisão semântica na definição das unidades de controle. Na implementação do sistema simplificado (EE2 – etapa 2), essa estrutura foi aprimorada com a criação de uma base organizacional de facetas controladas e a adoção de descrições livres para os pacotes de trabalho, o que trouxe flexibilidade na definição das metas, ainda que sem formalização explicita. Por fim, na análise dos dados do EE2 (etapa 3), foi possível distinguir claramente as três hierarquias e observar como sua separação contribuiu para consultas mais estruturadas e para a consolidação das atribuições de controle nos diferentes horizontes de planejamento.

7.2.4 Contextualização semântica para apoio à tomada de decisão (C4)

O quarto constructo amplia a perspectiva dos anteriores ao permitir que a unidade de controle seja registrada de forma estruturada, com vocabulário controlado e hierarquia flexível, viabilizando consultas fundamentadas em relações com contextualização semântica. No EE2, essa funcionalidade foi implementada no modelo relacional, possibilitando o rastreamento e a

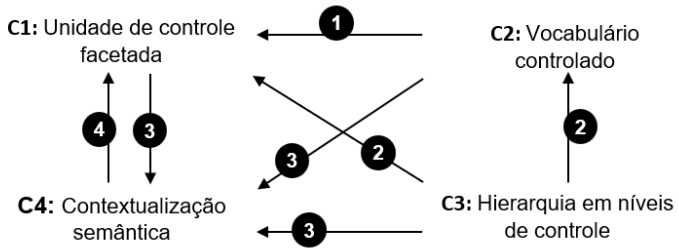
análise de dados a partir de qualquer dimensão contextual registrada. Embora não tenha sido aplicada em um ambiente real, mas apenas demonstrada como prova de conceito, essa capacidade apresenta potencial para orientar a definição de novos ciclos de controle e promover o aprendizado organizacional a partir da interpretação de dados de ciclos anteriores, fortalecendo a conexão entre dados e a tomada de decisão.

7.3 MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual organiza e explicita as relações entre os quatro constructos apresentados, configurando uma estrutura lógica que orienta a representação, o armazenamento e a consulta de dados no sistema de planejamento e controle da produção. Essa representação define como os elementos conceituais se articulam para transformar registros operacionais em informações contextualizadas, aptas a apoiar a tomada de decisão e a aprendizagem organizacional.

A Figura 83 apresenta o diagrama do modelo conceitual, no qual as setas indicam o encadeamento lógico entre os constructos e suas interdependências. Essa visualização reforça que a relação entre eles é dinâmica, permitindo ajustes a partir da retroalimentação gerada pelos resultados de cada ciclo de controle.

Figura 83 – modelo conceitual



Fonte: elaborada pela autora.

As relações entre esses constructos estão sintetizadas no Quadro 58. A Relação 1 conecta a unidade de controle definida por facetas (C1) ao vocabulário controlado (C2), evidenciando que cada faceta da unidade de controle deve ser nomeada segundo uma terminologia padronizada. Essa associação garante consistência semântica e interoperabilidade entre planos e obras, permitindo comparações e análises consolidadas no sistema de planejamento e controle. Já a relação 2 amplia essa integração ao incluir a hierarquia (C3), que viabiliza detalhamento e

agrupamento de unidades de controle e dados entre níveis e obras. A hierarquização assegura coerência e rastreabilidade dos dados ao permitir o agrupamento ou detalhamento das unidades de controle sem comprometer a integridade semântica definida pelas facetas (C1) e pelos termos controlados (C2).

Quadro 58 – descrição das relações entre constructos

Relação	Constructos relacionados	Descrição
1	Uso de uma terminologia controlada (C2) na definição das facetas das unidades de controle (C1)	Estabelece um vocabulário controlado (C2) para cada faceta que compõe a unidade de controle (C1), assegurando consistência semântica e comparabilidade entre planos e obras. Essa padronização preserva a coerência entre as metas de produção e permite transparência na comunicação entre equipes, empreendimentos e horizontes de controle.
2	Estruturação hierarquizada (C3), preserva a integridade semântica (C1/C2)	Articula a hierarquia no âmbito da organização e da unidade de controle, articuladas ao eixo temporal do LPS. Viabiliza detalhamento ou agrupamento de metas e dados entre níveis e obras, preservando a integridade semântica (C1/C2). Dessa forma, promove escalabilidade e coerência na criação e manutenção do banco de dados relacional.
3	Contextualização semântica (C4) a partir da unidade de controle facetada (C1), vocabulário controlado (C2) e hierarquias (C3)	Integra as unidades de controle facetadas (C1), o vocabulário controlado (C2) e as hierarquias (C3), conferindo uma dimensão contextual (C4) às consultas e análises dos dados. Essa integração viabiliza a rastreabilidade e a interpretação contextual dos pacotes de trabalho a partir de qualquer dimensão registrada.
4	Dados contextualizados (C4) retroalimentam a definição das unidades de controle (C1)	Retroalimenta a definição das unidades de controle (C1) por meio dos dados contextualizados (C4), permitindo identificar padrões de execução e apoiar a definição de novas metas de produção com base em ciclos anteriores de planejamento e controle. Como resultado, a unidade de controle passa a representar não apenas um instrumento de programação, mas também um suporte ao aprendizado organizacional baseado em dados.

Fonte: elaborado pela empresa.

A Relação 3 representa o ponto de convergência entre os três primeiros constructos, a unidade de controle (C1), o vocabulário controlado (C2) e hierarquia (C3), culminando na contextualização semântica (C4). Essa integração confere uma nova dimensão analítica ao modelo conceitual e operacional, permitindo que os dados sejam consultados e interpretados de forma contextual, considerando simultaneamente o processo, o local e o nível de planejamento em que se inserem.

Por fim, a Relação 4 descreve o movimento inverso, no qual os dados contextualizados (C4) retroalimentam a definição das unidades de controle (C1). Ao transformar resultados em aprendizado, o sistema reforça sua capacidade dinâmica e organizacional de aprendizagem, aprimorando os ciclos de planejamento futuros e consolidando a inteligência relacional do modelo conceitual.

Em síntese, o modelo conceitual proposto evidencia um ciclo de interdependência entre os constructos, no qual a padronização semântica (C1 e C2) e a hierarquização (C3) constituem a base para a contextualização dos dados (C4), que, por sua vez, retroalimentam o próprio sistema. Esse encadeamento cria uma estrutura dinâmica, capaz de evoluir à medida que novas informações são geradas nos ciclos de controle, consolidando um ambiente de aprendizagem contínua. Assim, o modelo transcende a função de representação estática e passa a operar como um mecanismo dinâmico de interpretação e aprimoramento de dados em conhecimento aplicado.

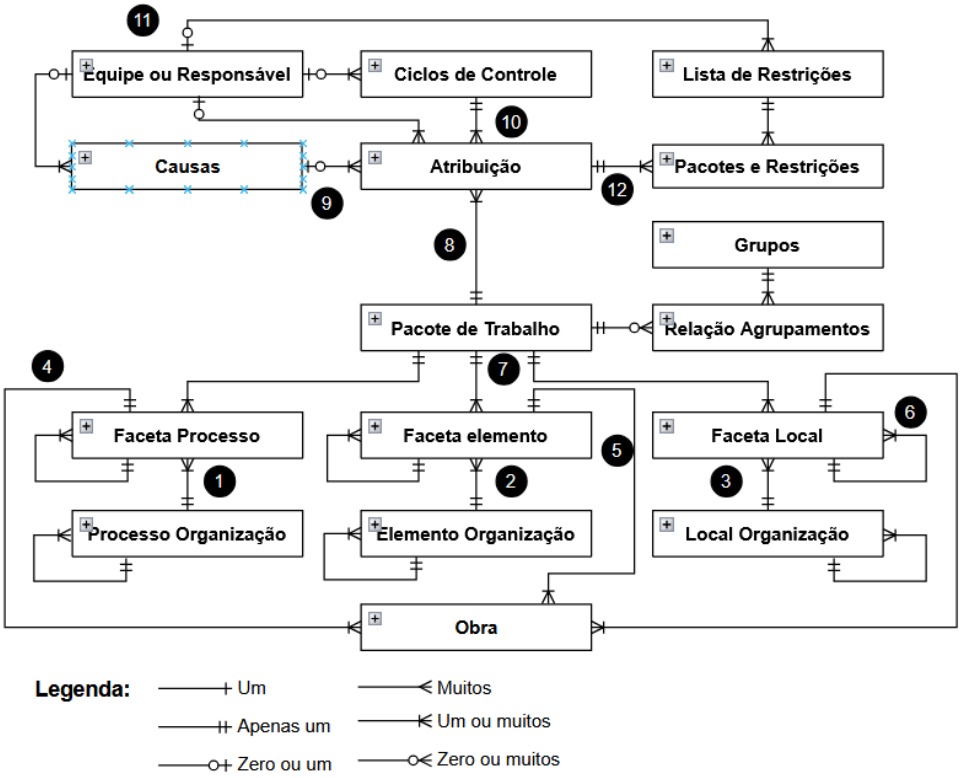
7.4 MODELO OPERACIONAL

O modelo operacional representa a materialização do modelo conceitual por meio de um sistema de informação, traduzindo os constructos propostos em uma estrutura para registrar, relacionar e analisar os dados do controle da produção. Em termos práticos, ele define como as informações são armazenadas e conectadas para que cada pacote de trabalho possa ser interpretado dentro de seu contexto — o que garante que os dados de diferentes obras e planos possam ser comparados, rastreados e reutilizados. A Figura 84 apresenta o ERD que estrutura o modelo. Ele integra três dimensões principais:

a) Organizacional, que reflete a estrutura padronizados de local, elementos e processos padronizada da empresa;
b) Unidade de Controle, que define a granularidade das informações e a identidade dos registros;
c) Atribuições e Ciclos de Controle, que representam a dinâmica temporal do controle da produção.

Essa integração assegura coerência semântica entre registros e preserva a integridade dos vínculos hierárquicos. A seguir, apresenta-se uma explicação funcional, passo a passo, de como o modelo opera na prática.

Figura 84 – modelo operacional



Fonte: elaborada pela autora.

O primeiro passo para utilizar o sistema é cadastrar a Obra e suas respectivas hierarquias organizacionais. As entidades Processo, Elemento e Local – Organização estruturam essas hierarquias, permitindo decompor o projeto tanto em termos espaciais (torres, pavimentos, zonas) quanto funcionais (subsistemas, componentes, atividades). Em seguida, cada obra recebe suas facetas instanciadas — Faceta de Processo, Faceta de Elemento e Faceta de Local —, que vinculam as classes organizacionais à obra específica. Essas facetas possuem um campo de ponderação (por exemplo, R$, m² ou %), que indica o peso relativo de cada categoria na composição do empreendimento. Embora métricas relacionadas ao esforço produtivo, como homem-hora, possam representar de forma mais adequada a capacidade de produção, sua utilização não foi explorada nesta pesquisa.

Com as facetas instanciadas, é possível gerar os Pacotes de Trabalho (PT), que são o núcleo operacional do modelo. Cada PT combina um conjunto de facetas — um processo, um elemento e um local — formando uma unidade única de controle da produção. Esses pacotes podem ser agrupados por meio das entidades Relações de Agrupamento e Grupos, que descrevem dependências e composições entre pacotes. As relações podem ter natureza de processo, de

local ou mista, conforme a lógica de correlação entre os pacotes. Caso existe a necessidade de detalhamento de alguma faceta, está deve ser realizada nas entidades Faceta de Processo, Faceta de Elemento e Faceta de Local e adequado as ponderações conforme as novas classes definidas. As entidades que definem as etapas descritas até aqui estão apresentadas no Quadro 59.

Quadro 59 – propriedades dos pacotes de trabalho no ERD

	Entidades					
Propriedades	Obra	Processo, elemento ou local Organização	Faceta processo, elemento ou local	Pacote de Trabalho	Relações Agrupamentos	Grupos
Identificador Único	Id_obra	Id_Oprocesso, id_Olocal ou id_Oelemento	Id_Fprocesso, id_Felemento ou id_Flocal	Id_PT	Id_PT_agrupamento	Id_grupo
Descrição da classe	nome da obra	texto padronizado ou classes de norma internacional	texto padronizado		Identifica se a relação é baseada em processo, local ou mista (ambos)	
Ponderador			Ponderação de cada faceta (R$, m2, %)			
Status	Situação da obra: pré-lançamento, finalizadaou andamento.				Situação da relação: ativa, encerrada ou suspensa.	
FatherID		Oprocesso_FatherID, Oelemento_FatherID ou Olocal_FatherID	Fprocesso_FatherID, Felemento_FatherID ou Flocal_FatherID			
Chaves estrangeiras			Id_obra + Id_Oprocesso, IdOelemento ou Id_Olocal	Id_Fprocesso, Id_Felemento e Id_Flocal	Id_grupo e Id_PT	

Fonte: elaborado pela autora.

Uma vez estruturados os pacotes, é possível o registro das atribuições, das restrições, das causas e dos ciclos de controle — entidades responsáveis por representar a dinâmica operacional do planejamento (Quadro 60):

a) A Atribuição conecta cada pacote de trabalho a uma Equipe e a um Ciclo de Controle, registrando o momento em que o trabalho é designado.
b) A Lista de Restrições e a entidade intermediária Pacotes e Restrições permitem acompanhar as liberações necessárias antes da execução.
c) A Causa documenta desvios e ações corretivas, reforçando a retroalimentação entre planejamento e aprendizagem.

Na prática, as restrições funcionam como barreiras preventivas identificadas antes da execução, enquanto as causas representam ocorrências pós-fato, associadas a desvios reais. Essa distinção reflete o caráter cíclico do sistema, no qual o aprendizado de um ciclo alimenta o seguinte.

Após a estruturação das entidades, o modelo operacional passa a orientar o uso do sistema conforme os três horizontes de planejamento — longo, médio e curto prazo — que configuram o ciclo de controle da produção. Cada horizonte mobiliza diferentes entidades do modelo e distintos níveis de granularidade informacional, de acordo com a finalidade de cada rotina. Assim, o modelo atua de forma integrada, traduzindo o plano mestre em ações operacionais, acompanhando sua execução e retroalimentando as camadas superiores com informações de desempenho e aprendizado.

Na rotina de longo prazo, o modelo operacional atua como instrumento de consolidação estratégica, e a Linha de Balanço é sugerida como a principal ferramenta para sua aplicação prática. Nesse nível, o sistema é responsável por realizar a primeira estruturação das facetas da obra, isto é, a instanciação das hierarquias de processo, elemento e local definidas pela organização, a partir das quais se formam os pacotes de trabalho que compõem o plano mestre. A LOB permite adequar esta instanciação à definição de sequência e o ritmo das frentes produtivas. Dessa forma, o sistema viabiliza análises de fluxo, balanceamento de recursos e sincronização entre processos, traduzindo o planejamento de longo prazo em uma base lógica e informacional sobre a qual os planos de médio e curto prazo são desdobrados.

No nível de médio prazo, o modelo operacional é utilizado para orientar o processo de coordenação entre as diferentes equipes e pacotes de trabalho. Nessa rotina, o sistema permite mapear as restrições identificadas durante as reuniões de *lookahead* e associá-las diretamente aos pacotes de trabalho previstos para execução nos ciclos seguintes. As entidades de Pacotes e Restrições e Lista de Restrições tornam-se centrais, pois permitem registrar, categorizar e acompanhar o status de cada impedimento até sua remoção. Assim, o modelo não apenas

suporta o processo de antecipação e preparação da produção, mas também gera uma base histórica de restrições recorrentes, fortalecendo o aprendizado organizacional entre obras.

Quadro 60 – propriedades das atribuições no ERD

Propriedades	**Entidade**					
	Atribuição	**Equipe ou Responsável**	**Causas**	**Pacotes e Restrições**	**Lista de Restrições**	**Ciclos de Controle**
Identificador Único	Id_Atribuição	Id_equipe	Id_causas	Id_P_R	Id_restricao	Id_plano
Descrição da classe	descrição livre	nome da equipe ou responsável	descrição livre da causa e da ação a ser tomada		descrição livre	descrição livre
Outros dados			Tipos de categorias de causa		Tipos de categorias de restrições	Tipos de ciclos: longo, médio ou curto prazo
Datas	data de início e término da atribuição		data de limite da resolução + data da remoção		data limite da remoção + data da remoção	data de início e término do plano + data da realização da reunião
Status	Concluído ou não				Condicional entre datas	
Chaves estrangeiras	Id_causas, Id_equipe, Id_plano		Id_equipe	Id_restricao e Id_PT	Id_equipe	Id_obra, Id_equipe

Fonte: elaborado pela autora.

Nas rotinas de curto prazo, o uso do modelo operacional se concentra na atribuição e no acompanhamento semanal da execução. No início do ciclo de controle, o sistema é utilizado para registrar a atribuição dos pacotes de trabalho, vinculando cada um deles a um responsável e a um ciclo de controle. Esses registros permitem detalhar as metas de execução e alinhar as responsabilidades de cada equipe. Ao longo da semana, o progresso é monitorado e, no final do ciclo, o sistema é novamente mobilizado para a avaliação da conclusão dos pacotes, documentando o status de término, os desvios identificados e as causas associadas ao não cumprimento dos planos. Essas informações alimentam o cálculo dos indicadores de confiabilidade e produtividade, ao mesmo tempo em que retroalimentam as camadas de médio

e longo prazo, garantindo a rastreabilidade das decisões e a consistência entre os diferentes horizontes de planejamento. Dessa forma, o modelo operacional consolida o curto prazo como um processo informacional cíclico, em que a programação e a análise de resultados compõem um mesmo fluxo de aprendizagem contínua.

Sob a lente da sociomaterialidade, o modelo operacional não se restringe a uma representação técnica do sistema de informação, mas se configura como um artefato mediador das interações entre tecnologia e prática. Ao estruturar as rotinas de longo, médio e curto prazo em um mesmo ambiente relacional, o modelo transforma as ações de planejar, executar e avaliar em um processo distribuído de produção de conhecimento, no qual os significados emergem da própria interação entre dados, equipes e ferramentas.

Para avaliar a qualidade informacional dos registros, foi desenvolvida a Taxa de Contextualização Semântica (TCS) — um indicador que mede o grau de estruturação relacional da base de dados. Ela é calculada pela proporção de pacotes de trabalho que possuem todas as dimensões contextuais preenchidas, evidenciando o nível de maturidade do uso do sistema. O ERD final — utilizado para o cálculo dessa taxa — contém 12 vínculos contextuais, descritos a seguir. Eles representam as relações que permitem que cada dado seja interpretado dentro do seu contexto:

a) Processo Organização, que conecta padrões organizacionais ou normas às facetas de processo definidas para cada obra (1);
b) Elemento Organização, que conecta padrões organizacionais ou normas às facetas de processo definidas para cada obra (2);
c) Local Organização, que conecta padrões organizacionais ou normas às facetas de processo definidas para cada obra (3);
d) Faceta de Processo, que define a estrutura hierárquica das facetas de processo para cada obra (4);
e) Faceta de Elemento, que define a estrutura hierárquica das facetas de elemento para cada obra (5);
f) Faceta de Local, que define a estrutura hierárquica das facetas de local para cada obra (6);
g) Pacote de trabalho, que combina as facetas de processo, elemento e local para definir uma nova unidade de controle (7);
h) Atribuições, que representam a execução dos pacotes de trabalho (8);
i) Causas, que conectam as atribuições aos desvios de execução (9);
j) Ciclos de Controle, que registram o status das atribuições no tempo (10);

k) Equipe ou Responsável, que associa os agentes às atribuições e às ações relacionadas às causas e às restrições (11).
l) Restrições, que relaciona os planos de ação às atribuições (12).

Esses vínculos formam o núcleo semântico do sistema, permitindo que os dados sejam compreendidos como partes interdependentes de uma rede relacional e não como registros isolados.

Cada pacote de trabalho, atribuição ou restrição deixa de ser um registro isolado para se tornar parte de uma rede de relações que dá sentido à produção e possibilita o aprendizado. Assim, o modelo operacional consolida a base sociomaterial do controle da produção, ao mesmo tempo em que sustenta a aprendizagem organizacional como um fenômeno que se constrói no e pelo uso do sistema.

7.5 CONTRIBUIÇÕES PRÁTICAS E TEÓRICAS DO ARTEFATO

As contribuições do artefato desenvolvido nesta tese emergem de reflexões entre as limitações identificadas na literatura e as soluções propostas no nível operacional do modelo. Diferentemente das abordagens LPS e BIM predominantes, que se restringem à integração instrumental entre métodos e tecnologias, o artefato propõe uma estrutura semântica de controle da produção capaz de conectar dados, práticas e agentes em uma base ontológica comum. A seguir, as contribuições são discutidas em eixos analíticos correspondentes à revisão de literatura deste trabalho.

7.5.1 Evolução dos sistemas de controle da produção

A literatura sobre controle da produção tem evoluído sob uma tensão persistente entre sistemas tradicionais de planejamento — centrados na previsão e no controle hierárquico — e sistemas baseados nos princípios Lean, orientados ao fluxo e à confiabilidade das operações. Desde as formulações de Shingo (1981) e Koskela (1992), a distinção entre conversão e fluxo consolidou-se como um marco teórico para compreender a produção não apenas como transformação de insumos, mas como um processo de geração de valor sustentado gestão de fluxos de produção. Contudo, essas formulações, embora conceitualmente robustas, permanecem desconectadas da estruturação de dados e da representação computacional do processo produtivo. Segundo Sacks, Girolami e Brilakis (2020), a tradução dos padrões produtivos da etapa de construção em regras digitais ainda constitui um desafio para a

automação e para a interoperabilidade informacional. Essa lacuna evidencia que o controle da produção na construção civil ainda carece de uma base semântica capaz de representar, relacionar e analisar de dados de execução de forma estruturada e comparável entre obras.

O artefato desenvolvido nesta pesquisa propõe uma unidade de controle facetada, composta pelas dimensões processo, elemento e local, formalizada no modelo relacional (ERD) que estrutura o sistema. Essa definição cria uma ontologia operacional do controle da produção, na qual cada pacote de trabalho é identificado pela combinação dessas três dimensões, preservando seus vínculos contextuais entre os diferentes níveis de planejamento. Tal estrutura permite consultas ascendentes e descendentes — do plano de longo prazo ao controle de execução — e garante rastreabilidade e coerência informacional entre os diferentes horizontes de planejamento. Com isso, o estudo avança da abstração conceitual para uma base de dados consultável, conectando os princípios de fluxo à estruturação informacional.

Outro aspecto de contribuição refere-se à reinterpretação da Linha de Balanço (LOB). Embora amplamente citada na literatura como boa prática para o planejamento tático, a LOB tem sido utilizada majoritariamente como ferramenta de visualização, sem acoplamento semântico às bases de dados. Nesta tese, a LOB é reconfigurada como mecanismo de estruturação das facetas da obra, representando a primeira estruturação informacional do modelo. Assim, a ferramenta deixa de operar como representação estática e passa a gerar dados estruturados, permitindo associar ritmo físico e fluxo informacional em uma mesma lógica de controle. Essa reinterpretação amplia o papel da LOB, integrando tempo, locais, processos e elementos e consolidando a coerência semântica entre o planejamento estratégico e o desdobramento operacional.

7.5.2 O LPS e a aprendizagem organizacional

Na literatura sobre o LPS, o sistema de planejamento e controle é descrito como um conjunto de práticas (Reck, 2010) e rotinas voltadas à confiabilidade da unidade de controle (Ballard, 2000). Entretanto, a aprendizagem organizacional decorrente dessas rotinas costuma permanecer implícita e raramente é capturada por mecanismos informacionais. O conhecimento gerado nas reuniões de curto e médio prazo tende a dispersar-se em registros fragmentados (planilhas, quadros ou anotações), sem retroalimentar os outros níveis de planejamento.

O artefato desenvolvido nesta pesquisa responde a essa lacuna ao modelar explicitamente as entidades responsáveis pela retroalimentação do sistema — atribuições, restrições, causas e

ciclos de controle — e ao introduzir a Taxa de Contextualização Semântica (TCS) como métrica para avaliar a maturidade informacional da base de dados. A TCS avalia a densidade das conexões entre entidades, revelando a capacidade do sistema de transformar registros isolados em conhecimento coletivo. Esse avanço introduz uma métrica mensurável de aprendizagem organizacional e inaugura uma abordagem baseada em evidências e dados de controle.

Adicionalmente, a tese avança na representação das causas e restrições — tradicionalmente conectadas de forma fragmentada em ciclos diferentes de controle. As restrições passam a representar ações preventivas e as causas, ocorrências reativas as falhas, compondo um modelo cíclico e explicativo da produção. Essa estrutura confere explicabilidade ao desempenho e desloca o foco do controle do simples registro para a interpretação contextual dos desvios. A abordagem resulta em um sistema capaz de produzir dados significativos e decisões fundamentadas, fortalecendo a reflexividade coletiva e institucionalizando a aprendizagem nas rotinas de planejamento.

7.5.3 Lacunas metodológicas e avanços em relação a sistemas LPS e BIM

A literatura recente tem buscado aproximar os princípios do LPS e as potencialidades do BIM, propondo sistemas integrados para o planejamento e controle da produção. No entanto, a análise crítica das iniciativas existentes — como o KanBIM (Sacks; Radosavljevic; Barak, 2010), o VisiLean (Dave et al., 2014, 2016; Dave; Boddy; Koskela, 2011, 2013) e o BeaM! (Schimanski et al., 2021) — evidencia que tais modelos permanecem limitados à digitalização de práticas operacionais, sem efetiva integração semântica ou interoperabilidade entre sistemas. Essas plataformas priorizam a visualização e a colaboração, mas não resolvem o problema da estruturação formal dos dados, tampouco oferecem mecanismos para mensurar a maturidade informacional ou comparar obras entre si.

Mesmo nos esforços que tratam da integração BIM e LPS, observa-se que ainda são utilizados de forma paralela, sem uma estrutura conceitual integrada que permita a reutilização de dados entre projetos e organizações (SCHIMANSKI et al., 2021). Quando há alguma forma de integração, esta ocorre de maneira unidirecional, com o BIM frequentemente servindo apenas como repositório *as-built*, sem influenciar ativamente o controle da produção (HEIGERMOSER et al., 2019; SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010).

O artefato desenvolvido nesta tese avança sobre essas limitações ao propor uma camada semântica explícita e operacionalizável para o controle da produção. Essa camada é sustentada

por um vocabulário controlado facetado. Essa estrutura não apenas padroniza a linguagem utilizada para descrever atividades, componentes e espaços, como também constrói uma gramática interoperável entre sistemas de informação, permitindo que dados provenientes de diferentes obras e ferramentas possam ser agregados e comparados de forma coerente.

A semântica resultante é traduzida em um modelo relacional (ERD), composto por 12 vínculos contextuais entre entidades como pacotes de trabalho, causas, restrições, ciclos de controle, equipes e locais. Essa configuração estabelece uma infraestrutura de dados consultável, em que cada registro é semanticamente situado e pode ser interrogado a partir de múltiplas perspectivas — por processo, elemento, local, equipe ou causa. Com isso, o sistema deixa de ser um repositório informativo e torna-se um artefato interpretativo, capaz de produzir conhecimento a partir das relações que ele mesmo estrutura.

Outro avanço relevante consiste na redefinição da função do elemento BIM dentro do controle da produção. Enquanto a literatura tende a tratá-lo como mero repositório de propriedades geométricas, a tese o reconhece como faceta coequivalente a processo e local dentro da unidade de controle. Essa reformulação corrige a fragmentação entre produto, processo e espaço, transformando o modelo BIM em estrutura de controle da produção e não apenas em suporte de visualização. =

Finalmente, o modelo operacional desenvolvido integra, em uma única arquitetura, os horizontes de longo, médio e curto prazo, tradicionalmente tratados de forma desarticulada. As atribuições realizadas em cada ciclo de controle são encadeadas por chaves relacionais comuns, garantindo continuidade informacional entre planos e ciclos de controle. Essa coerência entre níveis hierárquicos de planejamento elimina o desalinhamento entre planejamento e execução, assegurando que as decisões estratégicas e as ações de campo sejam registradas em uma base semântica unificada e retroalimentando os dados.

7.5.4 Considerações Finais

O artefato desenvolvido nesta tese consolida um avanço teórico, metodológico e prático ao traduzir princípios do LPS e BIM em uma infraestrutura informacional de controle da produção. A pesquisa supera a simples digitalização de rotinas e propõe uma base semântica que formaliza, operacionaliza e interpreta a produção como um sistema de aprendizagem contínua.

No nível conceitual, o modelo formaliza uma semântica do controle da produção, articulando as dimensões de processo, elemento e local em uma estrutura coerente e interoperável. Essa ontologia define o vocabulário que sustenta a consistência semântica entre planos e projetos, permitindo que o fluxo produtivo seja descrito, comparado e analisado de modo uniforme. Ao estruturar a produção como uma rede de relações semânticas, o modelo conceitual supera a fragmentação entre o LPS e ferramentas BIM, oferecendo uma gramática comum para o fluxo produtivo.

No nível operacional, essa semântica é transformada em uma infraestrutura relacional capaz de atribuir sentido aos dados de produção. O ERD implementa a lógica semântica proposta, viabilizando consultas contextuais e mensuração da maturidade informacional por meio da TCS. Assim, a aprendizagem organizacional deixa de ocupar um papel implícito e passa a constituir uma propriedade mensurável do sistema, expressa pela densidade de vínculos contextuais entre entidades. O resultado é um ambiente de dados que não apenas registra a produção, mas também aprende com ela, retroalimentando continuamente os ciclos de controle.

Por fim, sob a perspectiva das práticas sociomateriais, o artefato reposiciona o sistema como mediador da aprendizagem coletiva, evidenciando a interdependência entre humanos, artefatos e dados. O modelo não é apenas um instrumento de registro ou decisão, mas um componente ativo da prática, que co-produz conhecimento junto aos usuários. Ao tornar visível a relação entre práticas e informações, o sistema transforma o ato de planejar e controlar em um processo cognitivo compartilhado, no qual o saber organizacional é continuamente reconstruído nas interações entre tecnologia e trabalho.

8 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como ponto de partida o pressuposto de que um sistema de informação integrando o LPS e ao BIM, fundamentado em modelagem semântica, pode atuar como mediador da aprendizagem emergente nas comunidades de últimos planejadores, contribuindo para a interpretação qualificada dos dados de controle da produção e para a melhoria contínua dos processos construtivos.

O estudo foi conduzido segundo a abordagem da DSR, estruturada em dois Estudos Empíricos (EE) que permitiram compreender o problema, desenvolver soluções e avaliar seus resultados em contextos reais. No EE1, foi realizado o diagnóstico do sistema vigente, a aplicação e avaliação uma nova estrutura de dados baseada em facetas e unidades de controle em dados e, por fim, uma definição inicial do artefato dessa tese. No EE2, foi aplicado um sistema de controle simplificado em diferentes projetos de uma organização, culminando tanto na avaliação em uso dos constructos como na formulação e operacionalização do artefato apresentado no Capítulo 7.

O artefato, composto por constructos conceituais, modelo conceitual e modelo semântico operacional, foi concebido para responder às questões de pesquisa e atingir os objetivos propostos. Sua aplicação demonstrou que a modelagem semântica, quando associada à integração LPS e BIM, possibilita a padronização terminológica, a organização hierárquica e a contextualização dos dados, criando as condições necessárias para transformar registros de controle em conhecimento organizacional aplicável.

Assim, a trajetória metodológica e os resultados obtidos sustentam as conclusões apresentadas nas seções seguintes, nas quais são respondidas à questão principal e as questões secundárias da pesquisa, avaliando-se o alcance dos objetivos estabelecidos e destacando-se as contribuições, limitações e oportunidades para trabalhos futuros.

8.1 RESPOSTA À QUESTÃO PRINCIPAL DE PESQUISA

A questão central que orientou este trabalho foi **como promover a aprendizagem organizacional através dos dados de controle da produção**. A resposta construída ao longo do desenvolvimento e avaliação do artefato é que essa aprendizagem pode ser promovida por

meio da estruturação semântica dos dados de planejamento e controle, integrando-os a um sistema capaz de padronizar, hierarquizar e contextualizar as informações, de forma a permitir comparações consistentes e análises transversais entre múltiplos projetos e diferentes níveis hierárquicos do planejamento.

O artefato desenvolvido cumpre esse papel ao combinar:

a) Constructos conceituais que definem a unidade de controle, o vocabulário controlado, a hierarquia em diferentes níveis de controle e a contextualização semântica;
b) Modelo conceitual que representa como os constructos se articulam para transformar dados de controle em informação contextualizada;
c) Modelo operacional implementado em um esquema relacional, que viabiliza consultas multidimensionais e o cálculo de indicadores como a Taxa de Contextualização Semântica (TCS);

Nos Estudos Empíricos, a aplicação dessa estrutura permitiu que dados previamente dispersos e heterogêneos fossem organizados e consultados de forma consistente, possibilitando a identificação de padrões, a comparação entre obras e a retroalimentação de novos ciclos de controle. Embora a utilização plena da contextualização semântica como suporte direto a decisões estratégicas tenha ocorrido como prova de conceito, o potencial de ganho demonstrado indica que a solução proposta pode evoluir para uma prática consolidada, ampliando a capacidade das organizações de aprender a partir de sua própria experiência produtiva.

Portanto, a aprendizagem organizacional, no escopo desta pesquisa, é promovida quando os dados de controle são tratados como ativos de conhecimento, e não apenas como registros operacionais, e quando há um modelo que permita extrair, de forma sistemática, informações contextuais capazes de orientar a melhoria contínua.

8.2 RESPOSTA ÀS QUESTÕES SECUNDÁRIAS

No que se refere à primeira questão secundária, que indaga **como a unidade de controle deve ser estruturada para promover os ciclos de controle da produção do LPS com suporte do BIM**, a pesquisa demonstrou que essa unidade deve ser definida pela combinação de facetas — processo, local e, quando aplicável, elemento —, descritas por vocabulário controlado e organizadas em hierarquias que permitam diferentes níveis de agregação ou detalhamento. Essa estrutura assegura interoperabilidade semântica, facilita comparações e permite análise

transversal de múltiplos projetos. Tal abordagem foi validada tanto na análise de dados históricos realizada no EE1 quanto na aplicação em planejamento ativo no EE2.

A segunda questão secundária buscou compreender **como é possível comparar informações do controle da produção em um ambiente de múltiplos projetos e em níveis hierárquicos distintos de planejamento**. Os resultados indicam que essa comparação é viabilizada pela padronização semântica e pela organização hierárquica dos dados, que permitem a realização de consultas multidimensionais no modelo relacional. A padronização das facetas — processo, elemento e local — possibilitou o estabelecimento de indicadores equivalentes entre diferentes escalas de controle, conectando o que antes se configurava como conjuntos de dados fragmentados. Essa capacidade comparativa manifesta-se em duas instâncias complementares. O Protocolo 7, voltado à análise intraobra, sistematiza indicadores entre os níveis hierárquicos de planejamento e controle de uma mesma obra, permitindo acompanhar a coerência interna dos planos, a consistência dos registros e o desempenho das rotinas de planejamento ao longo do tempo — compondo, assim, uma visão horizontal da aprendizagem local. Já o painel de BI amplia essa lógica ao nível interobras, consolidando e comparando indicadores de PCP entre diferentes empreendimentos. Essa estrutura permite identificar padrões organizacionais, variações de maturidade informacional e oportunidades de melhoria sistêmica, demonstrando que a comparabilidade entre obras depende, sobretudo, da consistência semântica que sustenta os dados, e não apenas da padronização dos indicadores.

Por fim, a terceira questão secundária investigou **como explicitar a aprendizagem organizacional obtida através do controle da produção**. Os resultados indicam que essa explicitação ocorre por intermédio da contextualização semântica, que permite interpretar os registros dentro do seu contexto de origem e em relação a outros projetos e ciclos de controle. Essa capacidade de interpretação é mensurável pela maturidade informacional do sistema, expressa por meio da TCS. A aplicação desse princípio possibilita identificar padrões, desvios e boas práticas em diferentes horizontes temporais e espaciais, convertendo dados operacionais em conhecimento organizacional. No EE2, essa funcionalidade foi testada como prova de conceito, confirmando o potencial do sistema para sustentar decisões estratégicas e retroalimentar novos ciclos de planejamento, consolidando a aprendizagem organizacional como uma propriedade mensurável e dinâmica do artefato.

8.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Algumas limitações devem ser reconhecidas quanto ao escopo, à aplicação e aos resultados desta pesquisa:

a) **Contexto restrito de aplicação** – A validação prática do artefato ocorreu em duas organizações do nicho residencial (empresa N e F), o que limita a generalização imediata dos resultados para outros contextos organizacionais ou tipos de empreendimento.
b) **Prova de conceito para algumas funcionalidades** – Embora o modelo operacional e a contextualização semântica tenham sido implementados, sua utilização como suporte contínuo à tomada de decisão ocorreu apenas de forma experimental no EE2, não sendo incorporada como rotina organizacional.
c) **Dependência da qualidade dos dados de origem** – A eficácia do artefato depende diretamente da consistência, completude e atualização dos dados de controle da produção. Em alguns casos, lacunas ou inconsistências nos registros limitaram a profundidade das análises possíveis.
d) **Integração parcial com sistemas BIM existentes** – A integração com modelos BIM foi explorada de forma pontual, principalmente para fins de definição de facetas e vocabulário, mas não como fluxo contínuo de dados entre o modelo de informação e o sistema de controle.

O reconhecimento dessas limitações não invalida os resultados obtidos, mas aponta caminhos para o amadurecimento e a ampliação da aplicação do artefato, conforme será discutido na seção seguinte sobre trabalhos futuros.

8.4 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos e nas limitações observadas, identificam-se as seguintes oportunidades para continuidade e aprofundamento da pesquisa:

a) **Aplicação em diferentes organizações e tipos de projeto** – Testar o artefato em empresas com diferentes níveis de maturidade em LPS e BIM, abrangendo obras de distintas tipologias (residencial, comercial, infraestrutura) para avaliar sua adaptabilidade e robustez.
b) **Integração plena com sistemas BIM e plataformas de gestão** – Desenvolver fluxos contínuos de dados entre o modelo de informação da construção e o sistema de controle da produção, explorando automações para atualização em tempo real das facetas e da Taxa de Contextualização Semântica.
c) **Operacionalização da contextualização semântica em tempo real** – Implementar a funcionalidade de consultas contextualizadas como parte das rotinas diárias de

planejamento e controle, avaliando seu impacto direto na tomada de decisão e no desempenho produtivo.

d) **Expansão para outros domínios de gestão** – Adaptar o modelo semântico para incluir informações de custo, segurança, qualidade, logística de materiais e pessoas e sustentabilidade, ampliando o escopo de análise e o potencial de aprendizagem organizacional.

e) **Aprimoramento de indicadores e visualizações** – Desenvolver e testar novas métricas derivadas do modelo relacional, bem como dashboards interativos que permitam acompanhar o progresso dos ciclos de controle e identificar desvios de forma mais ágil.

Essas linhas de continuidade visam não apenas ampliar o alcance e a aplicabilidade do artefato, mas também fortalecer sua contribuição para a integração de dados, a interoperabilidade entre sistemas e a construção de uma base sólida para a aprendizagem organizacional no setor da construção.

REFERÊNCIAS

ABDI. **Classificação da Informação no BIM: Coletânea Guias BIM**. v 2. Brasília, BR: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2017.

ADEBIYI, T. A.; AJENIFUJA, N. A.; ZHANG, R. Digital Twins and Civil Engineering Phases: Reorienting Adoption Strategies**. Journal of Computing and Information Science in Engineering**. Outubro; 24(10): 100801, 2024. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2403.02426. Acessado em: 01/11/25.

AFSARI, K.; EASTMAN, C. M. A Comparison of Construction Classification Systems Used for Classifying Building Product Models. In: ASSOCIATED SCHOOLS OF CONSTRUCTION ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS, 52., 2016, Provo, UT. **Proceedings…** Provo, UT: ASC, 2016.

ALNAJJAR, O.; ATENCIO, E.; TURMO, J. Framework for Optimizing the Construction Process: The Integration of Lean Construction, Building Information Modeling (BIM), and Emerging Technologies. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 15, n. 13, 2025.

ALVES, T. C. L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudos de caso.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2000.

ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Challenges in Line-of-Balance Scheduling**. Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 6, p. 545, 2002. Disponível em: http://link.aip.org/link/JCEMD4/v128/i6/p545/s1&Agg=doi. Acesso em: 01/11/25

BALLARD, G. **The Last Planner™ System of Production Control.** 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – School of Civil Engineering, The University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Can Project Controls Do Its Job? In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 4, 1996, Birmingham, UK. **Proceedings**... Birmingham, UK: IGLC, 1996.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Shielding Production: An Essential Step in Production Control. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 1, p. 18–24, 1998.

BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. **Current Process Benchmark for the Last Planner® System of Project Planning and Control.** Berkeley, CA: Project Production Systems Laboratory (P2SL), 2020.

BEETZ, J. **Structured Vocabularies in Construction: Classifications, Taxonomies and Ontologies.** In: BORRMANN, A. et al. (org.). **Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice.** Cham, Switzerland: Springer, 2018. p. 155–166.

BIRRELL, G. S. Construction Planning: Beyond the Critical Path**. Journal of the Construction Division (ASCE)**, v. 106, n. 3, p. 389–407, 1980.

BJÖRNFOT, A.; JONGELING, R. Application of Line-of-Balance and 4D CAD for Lean Planning. **Construction Innovation**, v. 7, n. 2, p. 200–211, 2007.

BIOTTO, C. N. **Método para projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil com uso da modelagem BIM 4D Produção.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2012.

BORRMANN, A. et al. **Industry Foundation Classes: A Standardized Data Model for the Vendor-Neutral Exchange of Digital Building Models.** In: BORRMANN, A. et al. (org.). **Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice.** Cham, Switzerland: Springer, 2018. p. 81–126.

CHOO, J. H.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G.; ZABELLE, T. R. WorkPlan: Constraint-Based Database for Work Package Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 3, p. 151–161, 1999. Disponível: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%281999%29125%3A3%28151%29 Acesso em: 01/11/25

CHOO, H. J.; TOMMELEIN, I. D. Requirements and Barriers to Adoption of Last Planner Computer Tools**.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9**.,** 2001, Singapore. **Proceedings**... Singapore: IGLC, 2001.

CHUA, D. K. H.; JUN, S. L.; HWEE, B. S. Integrated Production Scheduler for Construction Look-Ahead Planning. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley, CA. **Proceedings**... Berkeley, CA: IGLC/UC Berkeley, 1999. p. 287–298.

CHUA, D. K. H.; SHEN, L. J.; BOK, S. H. Constraint-Based Planning with Integrated Production Scheduler over Internet**. Journal of Construction Engineering and Management**, v. 129, n. 3, p. 293–301, 2003.

COLLYER, S.; WARREN, C.; HAMSLEY, B.; STEVENS, C. Aim, Fire, Aim—Project Planning Styles in Dynamic Environments. **Project Management Journal**, v. 41, n. 4, p. 108–121, 2010. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1002/pmj.20199 Acesso em: 01/11/25

DAVE, B.; KUBLER, S.; FRÄMLING, K.; KOSKELA, L. Addressing Information Flow in Lean Production Management and Control in Construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22**.,** 2014, Oslo. **Proceedings**... Oslo: IGLC, 2014. p. 581–592.

DAVE, B.; KUBLER, S.; FRÄMLING, K.; KOSKELA, L. Opportunities for Enhanced Lean Construction Management Using Internet of Things Standards**. Automation in Construction**, v. 61, p. 86–97, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580515002149 Acesso em: 01/11/25

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. Challenges and Opportunities in Implementing Lean and BIM on an Infrastructure Project. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE

INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, **21.**, 2013, Fortaleza. **Proceedings**... Fortaleza: IGLC, 2013. p. 60–69.

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. VisiLean: Designing a Production Management System with Lean and BIM. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19**.,** 2011, Lima. **Proceedings**... Lima: IGLC, 2011.

DAWOOD, N. et al. Development of an Integrated Information Resource Base for 4D/VR Construction Processes Simulation**. Automation in Construction**, v. 12, p. 123–131, 2002.

DOWSON, J.; UNTERHITZENBERGER, C.; BRYDE, D. J. Facilitating and Improving Learning in Projects: Evidence from a Lean Approach**. International Journal of Project Management**, v. 42, n. 1, 2024.

EDELWEISS, N.; GALANTE, R. **Estruturas de dados** [recurso eletrônico]. Porto Alegre, BR: Bookman, 2009.

EMDANAT, S.; LINNIK, M.; CHRISTIAN, D. A Framework for Integrating Takt Planning, Last Planner System and Labor Tracking. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24**.,** 2016, Boston, MA. **Proceedings**... Boston, MA: IGLC, 2016. p. 53–62.

FIREMAN, M. **Proposta de método de controle integrado produção e qualidade, com ênfase na medição de perdas por making-do e retrabalho.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2012.

FLORIDI, L. **The Logic of Information: A Theory of Philosophy as Conceptual Design.** Oxford, UK: Oxford University Press, 2019.

GAO, S.; CHAN, T. K.; HENDY, P. Adoption of the digitalised Last Planner System in infrastructure projects: an Australian case study**. Construction Innovation**, 25 (3): 994–1013, 2023.

GHERARDI, S. **Situated knowledge and situated action: What do practice-based studies promise?** In: BARRY, D.; HANSEN, H. (org.) **The SAGE Handbook of New Approaches in Management and Organization**. London, UK: SAGE, 2008. p. 516-525.

GILBRETH, F. B.; GILBRETH, L. M. **Applied Motion Study: A Collection of Papers on the Efficient Method to Industrial Preparedness.** New York, USA: Sturgis & Walton Company, 1917.

GLOBERSON, S. Impact of various work-breakdown structures on project conceptualization**. International Journal of Project Management**, v. 12, n. 3, p. 165-171, 1994.

HÄLLGREN, M.; MAANINEN-OLSSON, E. Deviations and the breakdown of project management principles. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 2, n. 1, p. 53-69, 2009.

HAMERSKI, D. C. et al. Production planning and control as-imagined and as-done: the gap at the look-ahead level. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 29**.**, 2021, Lima. **Proceedings**... Lima: IGLC, 2021. p. 767–776. DOI: 10.24928/2021/0169

HAMLEDARI, H. et al. Automated schedule and progress updating of IFC-based 4D BIMs. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 31, n. 4, p. 04017012, 2017.

HAMZEH, F. R.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. Improving construction work flow: the connective role of lookahead planning**.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION*,* 16., 2008. **Proceedings**... Manchester, UK: IGLC, 2008. p. 635-646.

HE, J. **Metrics Store vs Semantics Layer.** 2022. Disponível em: https://kyligence.io/blog/semantic-layer-the-bi-trend-in-2023/. Acesso em: 01/11/25

HEIGERMOSER, D. et al. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. **Automation in Construction**, v. 104, p. 246-254, 2019.

HIROTA, E. H.; LANTELME, E. M. V.; FORMOSO, C. T. Learning how to learn Lean Construction concepts and principles. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION*, 7.*, 1999, Berkeley, USA. **Proceedings**... Berkeley, USA: IGLC, 1999. p. 411-422.

HOLLNAGEL, E. **Why is work-as-imagined different from work-as-done?** In: WACHTER, R. et al. (org.). Resilient Health Care: the resilience of everyday clinical work. Farnham: Ashgate, 2015. p. 249–264.

HOWELL, G. A.; KOSKELA, L. Reforming project management: the role of lean construction**.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION*,* 8., 2001, Brighton, UK. **Proceedings**... Brighton: IGLC, 2001.

HU, Z.; ZHANG, J. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 167-180, 2011.

ISATTO, E. L.; ZUCHETTI, M. Aplicação do mecanismo da função produção ao planejamento da produção seriada na construção**.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014, Maceió, AL. **Anais**... Maceió, AL: ENTAC, 2014.

ISO. **ISO 16739-1:2024 — Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema.** 2. ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2024.

ISO 8000. **Data quality — Part 8: Information and data quality: concepts and measuring.** Geneva, Switzerland: ISO, 2015.

ISO/IEC 25010. **ISO/IEC TR 25010: Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Product quality model.** Geneva, Switzerland: ISO, 2023.

JOHNSTON, R. B.; BRENNAN, M. Planning or organizing: The implications of theories of activity for management of operations**. Omega**, v. 24, n. 4 1996.

KALSAAS, B. T. The Last Planner System Style of Planning: Its basis in learning theory**. Journal of Engineering, Project, and Production Management**, v. 2, n. 2, p. 88-100, 2012.

KASANEN, E. et al. The constructive approach in management accounting research**. Journal of Management Accounting Research**, v. 5, n. July, p. 243-264, 1993.

KAYES, D. C. Experiential learning and its critics: Preserving the role of experience in management learning and education. **Academy of Management Learning & Education ,** v. 1, n. 2, 2002. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/40214146 Acesso em: 04/11/25

KEMMER, L.; HEINECK, M.; ALVES, C. L. Using the line of balance for production system design**.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 16*.,* 2008, Manchester, UK. **Proceedings**... Manchester, UK: IGLC, 2008. p. 299-308.

KITCHIN, R. **The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences.** London, UK: SAGE Publications, 2014.

KOCH, C.; KÖNIG, M. **Data Modeling.** In: BORRMANN, A. et al. (org.). **Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice.** Cham, Switzerland: Springer, 2018. p. 43-62.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** Espoo, Finlândia: VTT Publications, 2000. Disponível em: https://cris.vtt.fi/en/publications/an-exploration-towards-a-production-theory-and-its-application-to/ Acesso em: 04/11/25

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. vol. 72. Espoo, Finlândia: CIFE Technical Report, 1992. Disponível em: https://cris.vtt.fi/en/publications/application-of-the-new-production-philosophy-to-construction/ Acesso em: 04/11/25

KOSKELA, L. On new footnotes to Shingo**.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings**... Singapore: IGLC, 2001.

KOSKELA, L. Making-do: the eighth category of waste**.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Helsingør, Denmark. **Proceedings**... Helsingør, Denmark: IGLC, 2004. Disponível em: http://eprints.hud.ac.uk/26019/ Acesso em: 01/11/25

KOSKELA, L.; HOWELL, G. The underlying theory of project management is obsolete**.** In: PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE RESEARCH CONFERENCE, 2002, Seattle, USA. **Proceedings**... Seattle: PMI, 2002. p. 293-302.

KOSKELA, L.; KAGIOGLOU, M. On the metaphysics of production**.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005. **Proceedings**... Sydney, Autralia: IGLC, 2005. p. 37-45.

KOSKELA, L., FERRANTELLI, A., NIIRANEN, J., PIKAS, E., DAVE, B. Epistemological Explanation of Lean Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, 145(2), 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001597 Acesso em: 01/11/25

KOSKELA, L.; PIKAS, E.; NIIRANEN, J.; FERRANTELLI, A.; DAVE, B. On epistemology of construction engineering and management. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 25, 2017. **Proceedings**... Heraklion, Greece: *IGLC*, 2017. p. 169–176.

KOSKELA, L.; HOWELL, G. Reforming Project Management: the role of planning, execution and controlling. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8. Brighton, U. K. **Proceedings**... Brighton, U. K.: IGLC, 2001.

KUME, H. **Statistical Methods for Quality Improvement**. Tokyo, Japan: AOTS, 1985.

KUECHLER, W.; VAISHNAVI, V. K. A Framework for Theory Development in Design Science Research: Multiple Perspectives. **Journal of the Association for Information Systems**, v. 13, n. 6, p. 395–423, 2012.

LAVE, J.; WENGER, E. **Situated learning: legitimate peripheral participation.** 18th. ed. New York: Cambridge University Press, 2008.

LEÃO, C. F. **Proposta de Modelo para Controle Integrado da Produção e da Qualidade Utilizando Tecnologia de Informação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LIKER, J. K. **Toyota Way: 14 management principles from the world`s greatest manufacturer**. 2. ed. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2021.

LIN, J. J.; GOLPARVAR-FARD, M. Visual and Virtual Production Management System for Proactive Project Controls. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol. 147, no 7, p. 04021058, 2021.

LOPES, A. B.; BOSCARIOLI, C.. Business intelligence and analytics to support management in construction: a systematic literature review. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, no 13, p. 27–1, 2021.

LUKKA, K. **The Constructive Research Approach.** In: OJALA, L.; HILMOLA, O-P. (org.). Case study research in logistics. Turku: Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, 2003. p. 83–101.

MARCH, S. T.; SMITH, G. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251–266, 1995. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167923694000412 Acesso em: 01/11/25

MCKINSEY & COMPANY. **Transformações digitais no Brasil: insights sobre o nível de maturidade digital das empresas no país.** McKinsey & Company, 2019. Disponível em: https://www.mckinsey.com/br/our-insights/transformacoes-digitais-no-brasil. Acessado em: 04/11/25

MOODY, D. L.; SHANKS, G. G. Improving the quality of data models: empirical validation of a quality management framework**. Information Systems**, v. 28, n 6, 2003.

MUNAWAR, H. S.; ULLAH, F.; QAYYUM, S.; SHAHZAD, D. Big Data in Construction: Current Applications and Future Opportunities. **Big Data and Cognitive Computing**, 6(1), 18, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2504-2289/6/1/18 Acesso em: 01/11/25

ORLIKOWSKI, W. J. Improvising Organizational Transformation Over Time: A Situated Change Perspective**. Information Systems Research**, v. 7, n. 1, p. 63–92, 1996.

ORLIKOWSKI, W. J. Sociomaterial practices: Exploring technology at work. **Organization Studies**, v. 28, n. 9, p. 1435–1448, 2007.

ORLIKOWSKI, W. J. **Using Technology and Constituting Structures: A Practice Lens for Studying Technology in Organizations.** In: ACKERMAN, M. S. *et al.* **Resources, Co-Evolution And Artifacts.** London: Springer, 2000. p. 255–305. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-1-84628-901-9_10. Acesso em: 01/11/25

ORLIKOWSKI, W. J.; SCOTT, S. V. Sociomateriality: Challenging the Separation of Technology, Work and Organization. **The Academy of Management Annals**, v. 2, n. 1, p. 433–474, 2008.

ORLIKOWSKI, W. J.; SCOTT, S. V. What happens when evaluation goes online? Exploring apparatuses of valuation in the travel sector. **Organization Science**, v. 25, n. 3, p. 868–891, 2014.

ORLIKOWSKI, W. J.; SCOTT, S. V. Liminal innovation in practice: Understanding the reconfiguration of digital work in crisis. **Information and Organization**, v. 31, n. 1, p. 100336, 2021. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1471772721000026. Acesso em: 01/11/25

ORLIKOWSKI, W. J.; SCOTT, S. V. The Digital Undertow and Institutional Displacement: A Sociomaterial Approach. **Organization Theory**, v. 4, n. 2, 2023. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/26317877231180898 Acesso em: 01/11/25

ORLIKOWSKI, W. J.; SCOTT, S. V. The Digital Undertow: How the Corollary Effects of Digital Transformation Affect Industry Standards. **Information Systems Research**, v. 33, n. 1, p. 311–336, 2022.

PAUWELS, P.; TERKAJ, W. EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology**. Automation in Construction**, v. 63, p. 100–133, 2016.

PARAMESWARAN, A.; RANADEWA, K. A. T. O. Learning-to-learn sand cone model integrated lean learning framework for construction industry. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2023.

PARK, J.; CAI, H. WBS-based dynamic multi-dimensional BIM database for total construction as-built documentation. **Automation in Construction**, v. 77, p. 15–23, 2017.

PFITZNER, F.; BRAUN, A.; BORRMANN, A. From data to knowledge: Construction process analysis through continuous image capturing, object detection, and knowledge graph creation**.** **Automation in Construction**, v. 164, 2024.

PIPINO, L. L.; LEE, Y. W.; YANG, R. Y. Data Quality Assessment. **Communications of the ACM**, v. 45, n. 4, 2002.

PMI. **Practice Standard for Work Breakdown Structures.** 3. ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2019.

POWER BI. **Documentação do Power BI.** 2025. Disponível em: https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/. Acesso em: 01/11/25.

RECK, R. H. **Aplicação do índice de boas práticas de planejamento em empresas contrutoras da região metropolitana de Porto Alegre.** 2010. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RECK, R. H. **Proposta de método para integração da simulação de eventos discretos e visualização BIM 4D no projeto do sistema de produção.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ROCHA, G. S. **Proposta de Refinamento de Modelo de Controle Integrado da Produção e Qualidade com o uso de Dispositivos Móveis.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RODRIGUES, F.; ALVES, A. D.; MATOS, R. Construction Management Supported by BIM and a Business Intelligence Tool. **Energies**, v. 15, n. 9, 2022.

ROSA, P. S. **Planejamento e controle da produção: aderência entre planejamento de curto e médio prazo na construção civil**. 2016. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ROPOHL, G. Knowledge Types in Technology. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 7, n. 1–2, p. 65–72, 1997.

ROYANO, V.; GILBERT, V.; SERRAT, C. RAPINSKI, J. Analysis of classification systems for the built environment: Historical perspective, comprehensive review and discussion**.** **Journal of Building Engineering**. 67, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223000906 Acesso em: 01/112025

SACKS, R.; GIROLAMI, M.; BRILAKIS, I. Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. **Developments in the Built Environment**, v. 4, 2020.

SACKS, R.; BRILAKIS, I. PIKAS, E.; XIE, H. S. GIROLAMI, M. Construction with digital twin information systems. **Data-Centric Engineering**, v. 1, 2020. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/journals/data-centric-engineering/article/construction-with-digital-twin-information-systems/C88A0AE68BBA09517D7534B9DBE24FEF Acesso em: 01/11/25

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R. Requirements for building information modeling-based lean production management systems for construction. **Automation in Construction**, v. 19, n. 5, p. 641–655, 2010.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. Visualization of work flow to support lean construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 12, p. 1307–1315, 2009.

SACKS, R., BARAK, R., BELACIANO, B., GUREVICH, U.; PIKAS, E. Field tests of the KanBIM lean production management system. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19., 2011, Lima, Peru. **Proceedings…** Lima: IGLC, 2011. p. 465–476. Disponível em: https://iglc.net/Papers/Details/1124 Acesso em: 01/11/25

SAWHNEY, A.; RILEY, M.; IRIZARRY, J. **Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment.** New York, USA: Routledge, 2020.

SCHIMANSKI, C. P.; PRADHAN, N. L., CHALTSEV, D.; MONIZZA, G. P.; MATT, D. T. Integrating BIM with lean construction approach: Functional requirements and production management software. **Automation in Construction**, v. 132, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521004209 Acesso em: 01/11/25

SCOTT, S.; ORLIKOWSKI, W. J. The Digital Undertow: How the corollary effects of digital transformation affect industry standards. **Information Systems Research**, v. 33, n. 1, p. 311–336, 2022.

SHEIKHKHOSHKAR, M.; HAOUZI, H. B. E.; AUBRY, A.; HAMZEH. F. An advanced exploration of functionalities as the underlying principles of construction control metrics**. Smart and Sustainable Built Environment**, v. 13, n. 3, p. 644–676, 2024.

SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint.** Cambridge, MA: Productivity Press, 1981.

SKAAR, J.; BØLVIKEN, T., KOSKELA, L.; KALSAAS, B. T. Principles as a bridge between theory and practice. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 28*.,* 2020, Berkeley, CA. **Proceedings…** Berkeley: IGLC, 2020. p. 1–12. Disponível em: https://iglc.net/Papers/Details/1797 Acesso em: 01/11/25

SKINNARLAND, S.; YNDESDAL, S. The Last Planner System as a Driver for Knowledge Creation. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION*,* 20., 2012, San Diego, USA. **Proceedings…** San Diego: IGLC, 2012.

SOMMER, L. **Contribuições para um método de identificação de perdas por improvisação em canteiros de obras.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SPEAR, S.; BOWEN, H. K. Decoding the DNA of the Toyota Production System. **Harvard Business Review**, v. 77, n. 5, p. 96–106, 1999.

SRIPRASERT, E.; DAWOOD, N. Multi-constraint information management and visualisation for collaborative planning and control in construction. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 8, p. 341–366, 2003.

TAYLOR, F. W. **The Principles of Scientific Management.** New York, USA: Harper & Brothers, 1911.

USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. Ontologies: Principles, Methods and Applications**. Knowledge Engineering Review**, v. 11, n. 2, 1996.

VAISHNAVI, V. K.; KUECHLER, W. **Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology.** 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 7–30.

VENABLE, J.; PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R. **FEDS: A Framework for Evaluation in Design Science Research.** London: Palgrave Macmillan, 2016.

VOORDIJK, H. Construction management and economics: the epistemology of a multidisciplinary design science**. Construction Management and Economics**, v. 27, n. 8, p. 713–720, 2009.

WANG, R. Y.; STRONG, D. M. Beyond accuracy: What data quality means to data consumers**. Journal of Management Information Systems**, v. 12, p. 5–33, 1996.

WU, I. C.; HSIEH, S. H. A framework for facilitating multi-dimensional information integration, management and visualization in engineering projects. **Automation in Construction**, v. 23, p. 71–86, 2012.

WU, Z.; MA, G. Automatic generation of BIM-based construction schedule: combining an ontology constraint rule and a genetic algorithm. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 30, n. 10, p. 5253–5279, 2023.

YIN, R. K. **Case Study Research: Design and Methods.** Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2003.

ZAERI, F.; ROTIMI, J. O. B.; HOSEINI, M. R., COX, J. Implementation of the LPS using an Excel spreadsheet: A case study from the New Zealand construction industry. **Construction Innovation**, v. 17, n. 3, p. 324–339, 2017.

ZHANG, J.; HU, Z. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 155–166, 2011.

APÊNDICE A – SISTEMA DE CONTROLE DA PRODUÇÃO

Trabalho	Objetivo	Como o sistema foi implantado
Workplan (Choo *et al.*, 1999)	Propõem um sistema de informação baseado nos princípios do LPS.	Guiar o usuário na definição do pacote de trabalho, identificar restrições, checar restrições, alocar recursos e coletar causa de não cumprimento dos planos.
Integrated Production Scheduler (Chua; Shen; Bok, 2003; Chua; Jun; Hwee, 1999)	Propõem uma ferramenta de programação de para garantir a qualidade das atribuições de médio prazo.	Incorporar informações de disponibilidades de recursos e informações das atividades em uma ferramenta de Gantt.
Lewis (Lean Enterprise Web-based Information System for Construction) (Sriprasert; Dawood, 2003)	Propõem um sistema de suporte a decisão baseado na teoria de restrições, construção enxuta e engenharia concorrente.	Base de dados em SQL que integra informações de dispositivos móveis e visualização 4D
4D-GCPSU 2009 (Hu; Zhang, 2011; Zhang; Hu, 2011)	Propõem um sistema de informação para análise de segurança estrutural durante a construção	Cria uma base de dados para integrar informações de tempo, cronograma, custo, conflito especial no canteiro para as análises de segurança estrutural
KanBIM (Sacks; Treckmann; Rozenfeld, 2009; Sacks *et al.*, 2011; Sacks; Radosavljevic; Barak, 2010)	Propõem um sistema de informação baseado nos princípios do LPS.	Uso de Kanban (fichar virtuais) para controlar os status das atividades no modelo BIM (uso de telas touch sreen no canteiro). Usado nas reuniões para fazer a atribuição do pacote de trabalho no curto prazo.
PIIM Framework (Project Information Integration Management Framework) (Wu; Hsieh, 2012)	Propõem um sistema de integração de informação entre diferentes participantes do projeto	Utiliza a linguagem XML e IFC para construir o modelo de dados
VisiLean (Dave *et al.*, 2014, 2016; Dave; Boddy; Koskela, 2011, 2013)	Propõem um sistema de informação baseado nos princípios do LPS e BIM	Sincroniza o modelo de produto (BIM) com o modelo de processo (LPS), promovendo uma visualização clara dos status do trabalho através de indicadores visuais nos modelos 3D.
vPlanner Production Tracker (Emdanat; Linnik; Christian, 2016)	Propõem um sistema de monitoramento de horas de trabalho de campo e custo baseado nos princípios do Takt Time Planning e LPS.	Framework que coleta e armazena com consistência e eficiência das informações de campo.
BIM-based LPS prototype tool (Heigermoser *et al.*, 2019)	Propõem um sistema de gestão da construção que combina o LPS com visualizações 3D	Permite dividir o projeto em zonas de trabalho, obtendo os quantitativos automático de materiais, oferece um código de cores da simulação 4d do projeto para o curto prazo.
WBS-based dynamic multi-dimensional BIM (Park; Cai, 2017)	Propõem um método para armazenamento de informações de construção no modelo BIM	Cria uma nomenclatura em código alfanumérico para o WBS e propõem um ERD para automatizar o processo de armazenamento
Visual and Virtual Production Management System (Lin; Golparvar-Fard, 2021)	Propõem um sistema de controle visual e virtual baseado no BIM, LPS e nuvem de pontos	Utiliza a nuvem de pontos de câmeras 360 para monitorar o canteiro. Estas visualizações são processadas para o modelo Bim permitidos a visualização em tomada de decisão em reuniões do LPS
BeaM! (Schimanski *et al.*, 2021)	Propõem um sistema de gestão de informação para dar suporte a integração entre BIM e Lean na gestão da produção	Utiliza um quadro branco digital para a interface com o usuário final, apresenta um protótipo do banco de dados na nuvem baseado no IFC
Quantity surveying data and BIM (Sbiti *et al.*, 2022)	Propõem um armazém de dados para a criação de um sistema de gestão do conhecimento de sistemas autônomos e de instalações elétricos	Utiliza a linguagem UML para construir o modelo de dados e informações de trabalho padronizado de sistemas autônomos e de instalações elétricos
Automatic generation os BIM-based construction schedule (Wu; Ma, 2023)	Propõem uma geração automática de cronograma a partir da extração de informações do BIM	Utiliza regras ontológicas para identificar relações entre objetos do BIM e algoritmo genérico para construir o cronograma

APÊNDICE B - ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA: DIAGNÓSTICO EE2

Produção	1.	**Como ocorre o controle da produção em obra**?
	2.	Pode **descrever as etapas** e **quem participa** do processo?
	3.	Pode descrever os **momentos de verificação** da produção em obra?
	4.	Quais são as **ferramentas/planilhas/etc. utilizadas** para o controle da produção em obra?
	5.	**Como você sabe qual serviço deve ser verificado no canteiro**? **Com qual frequência você verifica** os serviços em canteiro? (empirismo)
	6.	Quando **ocorre um desvio do que foi planejado**, o que ocorre logo em seguida? **Quem** toma esta decisão? Como ele é **formalizado** (ferramentas/planilhas/etc.)? Existe **autonomia das equipes** de produção para esta tomada de decisão? (tomada de decisão e autonomia)
	7.	Se este **desvio do planejado é recorrente**, o que ocorre logo em seguida? Poderia dar **exemplos** que aconteceram na obra? (verificação da causa raiz dos problemas)
	8.	Quais as **principais dificuldades** encontradas no controle da produção?
	9.	Quais as **melhorias** que você sugere para o controle da produção?
	10.	Existe alguma **dificuldade de acesso as informações** de produção para o devido controle em obra?
Custos	11.	**Como ocorre o controle de custos em obra**?
	12.	Pode **descrever as etapas** e **quem participa** do processo?
	13.	Pode descrever os **momentos de verificação** de custos em obra?
	14.	Quais são as **ferramentas/planilhas/etc. utilizadas** para o controle de custos em obra?
	15.	**Como você sabe qual serviço deve ser verificado no canteiro**? **Com qual frequência você verifica** os serviços em canteiro? (empirismo)
	16.	Quando **ocorre um desvio do que foi planejado**, o que ocorre logo em seguida? **Quem** toma esta decisão? Como ele é **formalizado** (ferramentas/planilhas/etc.)? Existe **autonomia das equipes** de produção para esta tomada de decisão? (tomada de decisão e autonomia)
	17.	Se este **desvio do planejado é recorrente**, o que ocorre logo em seguida? Poderia dar **exemplos** que aconteceram na obra? (verificação da causa raiz dos problemas)
	18.	Quais as **principais dificuldades** encontradas no controle de custos?
	19.	Quais as **melhorias** que você sugere para o controle de custos?
	20.	Existe alguma **dificuldade de acesso as informações** de produção para o devido controle em obra?
Qualidade	21.	**Como ocorre o controle de qualidade em obra**?
	22.	Pode **descrever as etapas** e **quem participa** do processo?
	23.	Pode descrever os **momentos de verificação** da qualidade em obra?
	24.	Quais são as **ferramentas/planilhas/etc. utilizad**as para o controla da qualidade em obra?
	25.	**Como você sabe qual serviço deve ser verificado no canteiro**? **Com qual frequência você verifica** os serviços em canteiro? (empirismo)
	26.	Quando **ocorre um desvio do que foi planejado**, o que ocorre logo em seguida? **Quem** toma esta decisão? Como ele é **formalizado** (ferramentas/planilhas/etc.)? Existe **autonomia das equipes** de produção para esta tomada de decisão? (tomada de decisão e autonomia)
	27.	Se este **desvio do planejado é recorrente**, o que ocorre logo em seguida? Poderia dar **exemplos** que aconteceram na obra? (verificação da causa raiz dos problemas)
	28.	Como você realiza a **verificação das condições de início do serviço**? Em que momento? Os serviços que não possuem as condições necessárias são "travados"?
	29.	Nas verificações de qualidade realizadas no canteiro de obras, **você encontra serviços que não podem ter a qualidade verificada**? Pode citar as ocorrências mais frequentes?
	30.	**Todos os serviços executados em obra têm verificações de qualidade**? Pode dar exemplos de serviços que não tem?
	31.	Quais as **principais dificuldades** encontradas no controle da qualidade?
	32.	Quais as **melhorias** que você sugere para o controle da qualidade?
	33.	Existe alguma **dificuldade de acesso as informações** de produção para o devido controle em obra?
Geral	34.	Existe **outro controle** que é realizado em obra que não foi descrito anteriormente? Qual(is)?
	35.	Você acha que **o controle** da produção, da qualidade e de custo **poderiam ser realizados de forma integrada**? **Como** seria essa integração?
	36.	Quais seriam as **dificuldades** para essa integração e **quais mudanças** seriam necessárias?

APÊNDICE C - ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA EE2 PÓS IMPLEMENTAÇÃO

Etapa 1: Mostrar e explicar o **fluxo resumido do LPS com os status** de pacotes de trabalho:

1. Organização/Estrutura das rotinas
    a. As rotinas mensais e semanais da sua obra estão aderentes a este fluxo? Se não, descreva o que não está e possíveis causas dessa divergência.
    b. Existe algo faltando nas rotinas mensais ou semanais que deveria ser incluída nas práticas de PCP?
2. Previsibilidade de prazos
    a. As rotinas de médio prazo estão auxiliando na previsibilidade dos pacotes no curto prazo? De exemplos positivos ou negativos:
3. Confiabilidade de planejamento/Aprender com problemas recorrentes/Análise dos indicadores
    a. O que o PPC representa hoje para vocês?
    b. As rotinas de curto prazo estão auxiliando na antecipação de problemas recorrentes? Quais ações foram tomadas a partir desses problemas?
4. Engajamento/Participação das pessoas
    a. Você percebeu maior engajamento ou participação dos colaboradores na Fontana no planejamento e controle da sua obra? De exemplos positivos ou negativos:
    b. Você percebe setores que se beneficiariam com o engajamento/participação no PCP? Quais? Como você descreveria esse engajamento? (participação nas reuniões, recebimento das informações dos planos, recebimento dos indicadores de planejamento, etc.)

Etapa 2: Mostrar as **planilhas de rotinas preenchidas da obra**:

1. Armazenamento das informações
    a. Quanto tempo semanal você está dedicando ao preenchimento das planilhas? (curto + restrições removidas)
    b. Este esforço de dedicação está sendo revertido como benefício ao planejamento e controle da obra? Como (se possível, dê exemplos)?
    c. Existe alguma planilha que você não está utilizando? Porque?
    d. Você tem alguma dificuldade específica para preenchimento das planilhas?
    e. Você tem alguma sugestão de melhoria para as planilhas?
2. Definição de metas e quebra dos pacotes de trabalho
    a. Como normalmente você define as metas para os planos mensais e semanais?
    b. Existe dificuldade em definir essas metas? Quais?
    c. Você percebeu algum detalhamento progressivo quanto a processo ou local em diferentes níveis (longo, médio, curto)?

Geral:

1. Quais são as maiores dificuldades para implementar as rotinas de planejamento e controle da produção?
2. Quais são os maiores benefícios com a implementação das rotinas de planejamento?
3. Qual as chances de você continuar utilizando as rotinas na sua obra após a término do projeto? 1 - baixa; 3 - média; 5 - alta
4. Qual as chances de você utilizando as rotinas de PCP em um novo projeto seu na Fontana? 1 - baixa; 3 - média; 5 - alta

Caracterização entrevistado:

1. Quantos anos você trabalha na Fontana?
2. A quanto tempo desempenha a sua função na Fontana?
3. Quantas obras você trabalhou na Fontana?
4. Qual a sua formação e ano de formado?
5. Você já tinha utilizado/aprendido algum conceito relacionado ao planejamento e controle da produção? Qual, como e quando?

APÊNDICE D – CÓDIGOS PADRONIZADOS PARA PROCESSO

Código – Processo		Descrição Processo
1FUN	1FUN	Serviços Iniciais (Trabalhos em terra e Fundações)
	1FUN-B	Serviços Iniciais: blocos
	1FUN-C	Serviços Iniciais: contenções
	1FUN-E	Serviços Iniciais: estacas
	1FUN-M	Serviços Iniciais: marcação
2EST	2EST	Estrutura de Concreto
	2EST-L	Estrutura de Concreto: Laje
	2EST-P	Estrutura de Concreto: Pilares
	2EST-V	Estrutura de Concreto: Vigas
	2EST-VL	Estrutura de Concreto: Vigas e Lajes
3ALV	3ALV	Alvenaria
	3ENC	encunhamento
4TUB	4TUB	Tubulações (Elétrica, Hidrossanitária, Climatização, Gás)
	4ELE	Tubulações Elétricas
	4HID	Tubulações Hidrossanitárias
	4CLI	Climatização
	4GAS	Gás
5CON	5CON	Contramarco de Alumínio
6RIN	6RIN	Reboco Interno
	6TAC	Tacação
7CTP	7CTP	Contrapiso Nivelamento
8IMP	8IMP	Impermeabilização Sacadas, Cobertura, reservatório
9AZJ	9AZJ	Azulejos
10FOR	10FOR	Forro de Gesso
11REX	11REX	Reboco Externo
12MSS	12MSS	Massa Corrida
13SOL	13SOL	Soleiras
14PCE	14PCE	Piso Cerâmico
15FIA	15FIA	Instalação Elétrica (Fiação)
16ELE	16ELE	Elevador
17TEL	17TEL	Telhado
	17TEL-E	Estrutura Cobertura
18PEX	18PEX	Pintura Externa
19ALU	19ALU	Esquadria de Alumínio e Vidro
20MAD	20MAD	Esquadria de Madeira
21PIN	21PIN	Pintura Interna Final
22ACA	22ACA	Acabamento Elétricos e Eletrônicos
23LMI	23LMI	Louças, Metais e Prevenção de Incêndio
	23B	Louças: Banheira

Código – Processo		Descrição Processo
24LIM	24LIM	Limpeza
25SER	25SER	Calçada, Inst. Gás Central, Serviços Complementares (Limpeza, Paisagismo e Decoração)
	25AGM	Serviços complementares - Área Gourmet
	25EPET	Serviços complementares - Espaço Pet
	25MUR	Serviços complementares - Muros
	25PED	Serviços complementares - Pórtico de Entrada
	25QBT	Serviços complementares - Beach tennis
	25QPE	Serviços complementares - Quadra Poli
	25QPL	Serviços complementares - Quadra Padel
	25SFJA	Serviços complementares - Salão de festas / Jogos / Academia
26RVF	26RVF	Revisões Finais
27CEX	27CEX	Cerâmica Externa e Peitoril
28ACM	28ACM	ACM Fachada
29PPO	29PPO	Piso Polido
30PEP	30PEP	Pintura Epoxi Piso
31PVN	31PVN	Piso Vinílico
38RLJ	38RLJ	Recuperação da laje
39ACE	39ACE	Acabamentos elevador
40GCS	40GCS	Guarda-corpo Sacadas
41DRE	41DRE	Drenagem
42GAP	42GAP	Gesso Aplicado
43VTL	43VTL	Vidros Temperados e Laminados
44RPD	44RPD	Revestimento em Pedra
45RMD	45RMD	Revestimento de madeira

APÊNDICE E – HIERARQUIA DE PROCESSO DA OBRA 4

id_processo	id_fprocesso	Descrição Processo	fatherId_processo	Peso (%)	Valor (R$)
OBRA_4: OBRA_4	OBRA_4	Todos os ɔcessos da obra	OBRA_4:OBRA_4	74,96%	R$ 10.529.421,17
OBRA_4:1FUN	1FUN	Serviços Iniciais (Trabalhos em terra e Fundações)	OBRA_4:OBRA_4	0,99%	R$ 139.060,09
OBRA_4:2EST	2EST	Estrutura de Concreto	OBRA_4:OBRA_4	9,11%	R$ 1.280.190,30
OBRA_4:3ALVT	**3ALV**	**Alvenaria**	**OBRA_4:OBRA_4**	**3,92%**	**R$ 551.178,33**
OBRA_4:3ALV	**3ALVA**	**Alvenaria - andar menor elevador**	**OBRA_4:3ALVT**	**3,02%**	**R$ 424.632,29**
OBRA_4:3ALV-CRE	**3ALVCRE**	**Alvenaria - prumada elevador cremalheira**	**OBRA_4:3ALVT**	**0,70%**	**R$ 75.827,19**
OBRA_4:3ENC	**3ENC**	**Encunhamento**	**OBRA_4:3ALV**	**0,20%**	**R$ 3.868,73**
OBRA_4:4TUB	**4TUB**	**Tubulações (Elétrica, Hidrossanitária, Climatização, Gás)**	**OBRA_4:OBRA_4**	**8,65%**	**R$ 1.215.502,98**
OBRA_4:4CLI	**4CLI**	**Climatização**	**OBRA_4:4TUB**	**1,15%**	**R$ 161.598,66**
OBRA_4:4ELE	**4ELE**	**Tubulações Elétricas**	**OBRA_4:4TUB**	**3,00%**	**R$ 56.045,78**
OBRA_4:4GAS	**4GAS**	**Gás**	**OBRA_4:4TUB**	**1,50%**	**R$ 9.718,92**
OBRA_4:4HID	**4HID**	**Tubulações Hidrossanitárias**	**OBRA_4:4TUB**	**3,00%**	**R$ 3.370,72**
OBRA_4:5CON	5CON	Contramarco de Alumínio	OBRA_4:OBRA_4	0,35%	R$ 49.263,37
OBRA_4:6RINTAC	**6RINTAC**	**Reboco Interno**	**OBRA_4:OBRA_4**	**4,89%**	**R$ 686.421,28**
OBRA_4:6RIN	**6RIN**	**Reboco Interno**	**OBRA_4:6RINTAC**	**3,89%**	**R$ 546.048,83**
OBRA_4:6TAC	**6TAC**	**Tacação**	**OBRA_4:6RINTAC**	**1,00%**	**R$ 111.666,43**
OBRA_4:7CTP	7CTP	Contrapiso Nivelamento	OBRA_4:OBRA_4	1,45%	R$ 203.284,81
OBRA_4:8IMP	8IMP	Impermeabilização Sacadas, Cobertura, Reservatório	OBRA_4:OBRA_4	1,36%	R$ 191.354,35
OBRA_4:914PCE	**914PCE**	**Cerâmica Interna**	**OBRA_4:OBRA_4**	**6,97%**	**R$ 979.062,88**
OBRA_4:14PCE	**14PCE**	**Piso Cerâmico**	**OBRA_4:914PCE**	**4,47%**	**R$ 627.892,55**
OBRA_4:9AZJ	**9AZJ**	**Azulejos**	**OBRA_4:914PCE**	**2,50%**	**R$ 225.212,54**
OBRA_4:10FOR	10FOR	Forro de Gesso	OBRA_4:OBRA_4	2,37%	R$ 332.952,26
OBRA_4:11REX	11REX	Reboco Externo	OBRA_4:OBRA_4	1,71%	R$ 240.696,80
OBRA_4:12MSS	12MSS	Massa Corrida	OBRA_4:OBRA_4	2,04%	R$ 286.348,46
OBRA_4:13SOL	13SOL	Soleiras	OBRA_4:OBRA_4	1,31%	R$ 183.608,38
OBRA_4:15FIA	15FIA	Instalação Elétrica (Fiação)	OBRA_4:OBRA_4	2,45%	R$ 343.985,95
OBRA_4:16ELE	16ELE	Elevador	OBRA_4:OBRA_4	2,98%	R$ 419.141,48
OBRA_4:17TEL	17TEL	Telhado	OBRA_4:OBRA_4	0,47%	R$ 66.575,00
OBRA_4:18PEX	18PEX	Pintura Externa	OBRA_4:OBRA_4	1,39%	R$ 195.270,64
OBRA_4:19ALU	19ALU	Esquadria de Alumínio e Vidro	OBRA_4:OBRA_4	5,38%	R$ 755.308,06

OBRA_4:20MAD	20MAD	Esquadria de Madeira	OBRA_4:OBRA_4	3,68%	R$ 517.466,80
OBRA_4:21PIN	21PIN	Pintura Interna Final	OBRA_4:OBRA_4	2,04%	R$ 286.348,46
OBRA_4:22ACA	22ACA	Acabamento Elétricos e Eletrônicos	OBRA_4:OBRA_4	2,72%	R$ 382.468,00
OBRA_4:23LMI	23LMI	Louças, Metais e Prevenção de Incêndio	OBRA_4:OBRA_4	0,51%	R$ 71.154,41
OBRA_4:24LIM	24LIM	Limpeza	OBRA_4:OBRA_4	0,50%	R$ 69.991,07
OBRA_4:25SER	25SER	Calçada, Inst. Gás Central, Serviços Complementares (Limpeza, Paisagismo e Decoração)	OBRA_4:OBRA_4	3,69%	R$ 518.884,85
OBRA_4:26RVF	26RVF	Vistoria	OBRA_4:OBRA_4	0,45%	R$ 63.632,99
OBRA_4:27CEX	27CEX	Cerâmica Externa e Peitoril	OBRA_4:OBRA_4	1,12%	R$ 157.873,46
OBRA_4:29PPOPEP	**29PPOPEP**	**Piso**	**OBRA_4:OBRA_4**	**1,93%**	**R$ 270.707,88**
OBRA_4:29PPO	**29PPO**	**Piso Polido**	**OBRA_4:29PPOPEP**	**1,00%**	**R$ 140.263,15**
OBRA_4:30PEP	**30PEP**	**Pintura Epoxi Piso**	**OBRA_4:29PPOPEP**	**0,93%**	**R$ 67.587,94**
OBRA_4:38RLJ	38RLJ	Recuperação da laje	OBRA_4:OBRA_4	0,19%	R$ 26.237,03
OBRA_4:39ACE	39ACE	Acabamentos elevador	OBRA_4:OBRA_4	0,32%	R$ 45.450,83

APÊNDICE F – HIERARQUIA DE LOCAL DA OBRA 4

id_local	id_flocal	Descrição Local	Zona	fatherId_local	Peso da Área Construída	Área em m2
OBRA_4:OBRA_4	OBRA_4	Toda Obra	Obra	OBRA_4:OBRA_4	100,00%	7092,28
OBRA_4:MUR	**MUR**	**Muros**	**Muro**	**OBRA_4:OBRA_4**	**5,00%**	**354,614**
OBRA_4:T0	**T0**	**Torre**	**Torre**	**OBRA_4:OBRA_4**	**95,00%**	**6737,666**
OBRA_4:FG1	FG1	Garagens 01	Fachada e sacada	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:FG2	FG2	Garagens 02	Fachada e sacada	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:FG3	FG3	Garagens 03	Fachada e sacada	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:F03	F03	Fachada 03	Fachada e sacada	OBRA_4:T0	3,50%	248,2298
OBRA_4:F04	F04	Fachada 04	Fachada e sacada	OBRA_4:T0	3,50%	248,2298
OBRA_4:F01	F01	Fachada 01	Fachada e sacada	OBRA_4:T0	3,50%	248,2298
OBRA_4:F02	F02	Fachada 02	Fachada e sacada	OBRA_4:T0	3,50%	248,2298
OBRA_4:ELEESC	**ELEESC**	**Circulação**	**Fachada e sacada**	**OBRA_4:T0**	**3,50%**	**248,2298**
OBRA_4:ELE	**ELE**	**Elevadores**	**Escada e elevador**	**OBRA_4:ELEESC**	**1,00%**	**70,9228**
OBRA_4:ESC	**ESC**	**Escada**	**Escada e elevador**	**OBRA_4:ELEESC**	**1,00%**	**70,9228**
OBRA_4:RES	RES	Reservatório	Volume superior	OBRA_4:T0	1,00%	70,9228
OBRA_4:COB	COB	Cob. 10º Tipo	Volume superior	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:10T	10T	10º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:9T	9T	9º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:8T	8T	8º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:7T	7T	7º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:6T	6T	6º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:5T	5T	5º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:4T	4T	4º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:3T	3T	3º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:2T	2T	2º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:1T	1T	1º Tipo	Tipo	OBRA_4:T0	4,00%	283,6912
OBRA_4:TER	TER	Térreo	Térreo	OBRA_4:T0	8,00%	567,3824
OBRA_4:SS1	SS1	Subsolo 01	Subsolo	OBRA_4:T0	7,00%	496,4596
OBRA_4:SS2	SS2	Subsolo 02	Subsolo	OBRA_4:T0	7,00%	496,4596