

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Rene Rodrigues Oliveira Silva

**LAJES MACIÇAS PRÉ-MOLDADAS: DIRETRIZES PARA PADRONIZAÇÃO DO
PROJETO PARA PRODUÇÃO**

**São Carlos
2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Rene Rodrigues Oliveira Silva

**LAJES MACIÇAS PRÉ-MOLDADAS: DIRETRIZES PARA PADRONIZAÇÃO DO
PROJETO PARA PRODUÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil
Orientador: Prof. Dr. José Carlos Paliari

São Carlos
2022



Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Rene Rodrigues Oliveira Silva, realizada em 16/12/2022.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Jose Carlos Paliari (UFSCar)

Prof. Dr. Marcelo de Araujo Ferreira (UFSCar)

Prof. Dr. Pedro Kopschitz Xavier Bastos (UFJF)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças e sabedoria para superar os obstáculos durante todos esses anos. Também aos meus familiares e amigos por todo o apoio.

Agradeço imensamente ao meu orientador prof. Dr. José Carlos Paliari, que, devido à pandemia, não tive o prazer de conhecer pessoalmente. Agradeço por todos os ensinamentos compartilhados nas disciplinas e durante todo o desenvolvimento deste trabalho, que me propiciaram uma grande evolução profissional e acadêmica.

Ao prof. Dr. Marcelo de Araújo Ferreira, por todas as importantes contribuições a este trabalho tanto em seu início, na qualificação, quanto na defesa.

A prof^a. Dr^a. Patrícia Stella Pucharelli Fontanini, pela apreciação e sugestões que contribuíram para este trabalho na qualificação.

Ao prof. Dr. Pedro Kopschitz Xavier Bastos, pela apreciação do trabalho na defesa e pelas sugestões que contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos professores e colegas que colaboraram direta ou indiretamente com este trabalho, seja com ideias, ensinamentos ou troca de experiências. Agradeço especialmente à Tamiris Capellaro Ferreira, por todos os trabalhos desenvolvidos em conjunto, ao Dr. André Luiz Vivan, por se dispor a compartilhar seus conhecimentos, à prof^a. Dr^a. Clarissa Notariano Biotto, pelos conhecimentos compartilhados em sua disciplina e pelas colaborações a respeito da abordagem metodológica desta pesquisa.

As empresas e profissionais que participaram deste trabalho, por toda as experiências profissionais compartilhadas, pelas entrevistas concedidas, por acolher as ideias proposta e por permitir a participação em seus processos.

A UFSCar, pela oportunidade e por toda a estrutura que permitiram a condução deste trabalho. A todos os colegas e professores do PPGE Civ, pela amizade e por todo o conhecimento que adquiri durante esses anos.

RESUMO

A execução de lajes moldadas *in loco* em edificações residenciais é considerada uma atividade crítica em relação à ergonomia e risco de acidentes, além de ser um gargalo de produção, por ser um pré-requisito a diversas outras atividades. Assim, diversas construtoras optam por produzir as lajes de edificações multifamiliares nos padrões do concreto pré-moldado em canteiro de obras: as Lajes Maciças Pré-Moldadas (LMPM). Neste contexto, este trabalho visa propor diretrizes para padronização de Projeto para Produção de LMPM, considerando painéis biapoiados de dimensões padronizadas. As diretrizes propostas foram subsidiadas por meio de uma pesquisa-ação envolvendo três ciclos de aprendizagem na execução de uma edificação de múltiplos pavimentos em que, ao final de cada ciclo, foram propostas ações visando solucionar os problemas detectados, e sua implementação no ciclo seguinte, constituindo um aprendizado contínuo e acumulativo. As diretrizes abordam as etapas de produção dos painéis de LMPM em canteiro de obras e montagem nos pavimentos, com indicação de detalhes executivos dos processos de produção, dispositivos de içamento, nichos de instalações, ligações entre painéis e projeto de um sistema de formas personalizável, contribuindo para o aumento da industrialização na construção de obras residenciais, que usualmente utilizam lajes moldadas *in loco*.

Palavras-chave: painéis padronizados de lajes maciças pré-moldadas, concreto pré-moldado, projeto para produção, Lean Construction.

ABSTRACT

The production of cast-in-situ slabs for residential buildings is considered a critical activity in relation to ergonomics and risk of accidents, in addition to being a production bottleneck, as it is a prerequisite for several other activities. Thus, many construction companies choose to produce the slabs of multifamily buildings in the standards of precast concrete at construction sites: Precast Solid Slabs (PSS). In this context, this work aims to propose guidelines for the standardization of a Design for Production of PSS, considering standardized panels with standard dimensions. The proposed guidelines were supported through action research involving three learning cycles in the execution of a multi-story building. At the end of each cycle, actions were proposed to solve the detected problems, and their implementation in the following cycle, constituting continuous and cumulative learning. The guidelines address the stages of production of PSS panels at the construction site and assembly on the floors. The executive details of the production processes, lifting devices, installation niches, connections between panels and the design of a customizable formwork system are indicated. The Design for Production will contribute to the increase in industrialization in the construction of residential works, which usually use cast-in-place slabs.

Keywords: precast solid slabs, precast concrete, design for production, Lean Construction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alisamento laje maciça moldada no canteiro	18
Figura 2 - Primeiro Ciclo de Produção das LMPM	18
Figura 3 - Içamento das LMPM	19
Figura 4 - Segundo ciclo de produção das LMPM.....	19
Figura 5 - Nichos elétricos.....	20
Figura 6 - Região de emendas de armadura.....	20
Figura 7 – Dispositivos Internos	21
Figura 8 - Ganchos de içamento	22
Figura 9 - Perfis do sistema de formas.....	23
Figura 10 - Montagem das formas na pista de concretagem	24
Figura 11 - Nichos de ligação dos painéis.....	24
Figura 12 - Armadura de costura.....	25
Figura 13 - Macaco hidráulico tipo jacaré.....	25
Figura 14 - Alisador de concreto	25
Figura 15 - Forma das LMPM.....	26
Figura 16 - Guindaste telescópico.....	26
Figura 17 - Processos de transformação	30
Figura 18 - Níveis da nova filosofia de produção	31
Figura 19 - Delineamento da pesquisa.....	37
Figura 20 - Dimensões máximas de transporte.....	44
Figura 21 - Amostras de lajes orçadas de 2015 a 2021	45
Figura 22 - Histograma das amostras de lajes vendidas de 2015 a 2021	46
Figura 23 - Perspectiva 3D da locação das pilhas de painéis de LMPM no canteiro de obras	49
Figura 24 - Planta baixa da paginação dos painéis de LMPM e locação das formas no canteiro de obras	49
Figura 25 - Perspectiva 3D da locação das pilhas de painéis de LMPM no canteiro de obras	50
Figura 26 - Planta baixa da paginação das lajes e locação das formas no canteiro de obras, após a padronização dos painéis	51
Figura 27 - Prancha de Locação	52
Figura 28 - Projeto painéis L5 e L10	53
Figura 29 - Projeto painéis L4 e L9	54
Figura 30 - Projeto painéis L3 e L8	55
Figura 31 - Projeto painéis L2 e L7	56
Figura 32 - Projeto painéis L1 e L6	57
Figura 33 - Projeto painel L11	58
Figura 34 - Fluxograma dos processos de concretagem	60
Figura 35 - Ensaios de resistência à compressão e abatimento do tronco de cone.....	61
Figura 36 - Esquadro e nivelamento da forma dos painéis de LMPM: 1º pavimento	62
Figura 37 - Colocação dos eletrodutos nos painéis de LMPM: 1º pavimento.....	62

Figura 38 - Primeiro painel de LMPM produzido: 1º pavimento	63
Figura 39 - Desforma do primeiro painel de LMPM: 1º pavimento	63
Figura 40 - Montagem do último painel de LMPM: 1º pavimento	64
Figura 41 - Posição do guindaste e das pilhas de painéis de LMPM: 1º pavimento	65
Figura 42 - Alargamento da região dos dispositivos de içamento dos painéis de LMPM: 1º pavimento	65
Figura 43 - Referências para a montagem dos painéis de LMPM: 1º pavimento	66
Figura 44 - Içamento do painel de LMPM e remoção das lonas plásticas utilizada no isolamento das superfícies: 1º pavimento	66
Figura 45 - Quebra do painel durante o deslocamento da L05: 1º pavimento	67
Figura 46 - Acabamento de superfície nas regiões de gancho das LMPM: 1º pavimento	67
Figura 47 - Os acabamentos de superfície inferior das LMPM: 1º pavimento	68
Figura 48 - Falhas de vibração da LMPM: 1º pavimento	68
Figura 49 - Os nichos de ligação entre painéis de LMPM: 1º pavimento	69
Figura 50 - Pino de travamento do sistema de formas: 2º pavimento	70
Figura 51 - Colocação das armaduras e eletrodutos com uso de EPS: LMPM do 2º pavimento	71
Figura 52 - Painéis de LMPM do 2º pavimento concretados sobre lonas	71
Figura 53 - Pilhas de painéis de LMPM: 2º pavimento	72
Figura 54 - Dispositivo de içamento dos painéis de LMPM: 2º pavimento	72
Figura 55 - Acabamento de superfície inferior dos painéis de LMPM: 2º pavimento	73
Figura 56 - Falhas de vibração: 2º pavimento	73
Figura 57 – Região danificada no perfil: 3º pavimento	75
Figura 58 - Colocação das Armaduras e Eletrodutos no Painel de LMPM: 3º Pavimento	75
Figura 59 - Concretagem dos Painéis de LMPM: 3º pavimento	76
Figura 60 - Pilhas de Painéis de LMPM: 3º pavimento	76
Figura 61 - Dispositivo de içamento da LMPM: 3º pavimento	77
Figura 62 - Painel L4 sem os ganchos de içamento: 3º pavimento	77
Figura 63 - Acabamento de superfície inferior da LMPM: 3º pavimento	78
Figura 64 - Falhas de vibração do painel de LMPM: 3º pavimento	78
Figura 65 - Estado das formas após todas as utilizações: 3º pavimento	79
Figura 66 – Representação gráfica da qualidade dos painéis de LMPM	82
Figura 67 - Prancha de Locação dos Painéis	88
Figura 68 – Prancha da locação das pilhas de painéis de laje	91
Figura 69 - Prancha de Detalhes do Painel	93
Figura 70 - Prancha de Produção das Formas	95
Figura 71 - Prancha painéis L5 e L10	97
Figura 72 - Prancha painéis L4 e L9	98
Figura 73 - Prancha painéis L3 e L8	99
Figura 74 - Prancha painéis L2 e L7	100
Figura 75 - Prancha painéis L1 e L6	101

Figura 76 - Prancha painéis L11 102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Os oito tipos de desperdícios na indústria de pré-moldados.....	32
Quadro 2 - Estratégias de entrega relacionadas om o OPP	34
Quadro 3 - Artigos selecionados	40
Quadro 4 - Síntese dos artigos.....	41
Quadro 5 - Informações da entrevista na fábrica de lajes	46
Quadro 6 - Informações da entrevista com o gestor de obras	47
Quadro 7 - Comparação entre as duas opções de projeto.....	59
Quadro 8 - Contribuições do acompanhamento da produção dos painéis de LMPM: 1º pavimento....	64
Quadro 9 - Contribuições do acompanhamento da montagem dos painéis de LMPM: 1º pavimento..	69
Quadro 10 - Contribuições do acompanhamento da produção dos painéis de LMPM: 2º pavimento..	71
Quadro 11 - Contribuições do acompanhamento da montagem dos painéis de LMPM: 2º pavimento	74
Quadro 12 - Contribuições do Acompanhamento da Produção dos Painéis: 3º Pavimento.....	76
Quadro 13 - Contribuições do Acompanhamento da Montagem dos Painéis: 3º Pavimento	79
Quadro 14 - Problemas de Produção dos painéis	80
Quadro 15 – Evolução da solução dos problemas: Montagem dos Painéis.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Problemas nos painéis de LMPM: 1º pavimento	70
Tabela 2 - Problemas nos painéis de LMPM: 2º pavimento	74
Tabela 3 - Problemas nos painéis: 3º pavimento	79
Tabela 4 - Qualidade dos painéis de LMPM	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ATO: Assemble-to-Order

BIM: Building Information Modeling

DI: Dispositivo de Içamento

ETO: Engineer-to-Order

FL: Forma Lateral

FT: Forma Transversal

ICC: Indústria da Construção Civil

JIT: Just-in-Time

LMPM: Lajes Maciças Pré-Moldadas

MFV: Mapa do Fluxo de Valor

MTO: Make-to-Order

MTS: Make-to-Stock

NAV: Não Agregam Valor

OFC: Off-Site Construction

OPP: Order Penetration Point

PDE: Ponto de Descida de Eletroduto

PSE: Ponto de Subida de Eletroduto

RBS: Revisão Bibliográfica Sistemática

SED: Simulação de Eventos Discretos

STP: Sistema Toyota de Produção

TFS: Trabalho Fora de Sequência

UFSCar: Universidade Federal de São Carlos

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	SISTEMA DE LAJES MACIÇAS PRÉ-MOLDADAS.....	17
2.1.1	DEFINIÇÕES	17
2.1.2	SISTEMA DE PRODUÇÃO <i>IN LOCO</i>	17
2.2	PROJETOS PARA PRODUÇÃO	26
2.2.1	PROCESSO DE PROJETO E A PRODUTIVIDADE	26
2.2.2	<i>LEAN DESIGN</i> E A PRODUÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS.....	28
2.2.3	PROJETOS PARA PRODUÇÃO	34
3	MÉTODO DE PESQUISA	36
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	36
3.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	36
3.3	FASE A: COMPREENSÃO	37
3.3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	38
3.3.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS) <i>ROADMAP</i>	38
3.3.2.1	FASE DE ENTRADA.....	38
3.3.2.2	FASE DE PROCESSAMENTO	39
3.3.2.3	FASE DE SAÍDA	39
3.3.3	ENTREVISTAS	42
3.4	FASE B: DESENVOLVIMENTO.....	43
3.5	FASE C: ANÁLISE E REFLEXÃO.....	43
4	RESULTADOS	44
4.1	FASE A: ETAPA DE ENTREVISTAS	44
4.1.1	ENTREVISTA: FÁBRICA DE LAJE.....	44
4.1.2	ENTREVISTA: GESTOR DE OBRAS	46
4.2	FASE B - DESENVOLVIMENTO: ADEQUAÇÕES PARA LMPM PADRONIZADAS	48
4.3	FASE B - CICLOS DE APRENDIZAGEM	59
4.3.1	PRIMEIRO CICLO DE APRENDIZAGEM: CICLO I – 1º PAVIMENTO.....	61
4.3.1.1	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE LMPM DO 1º PAVIMENTO.....	61
4.3.1.2	MONTAGEM DOS PAINÉIS DE LMPM: 1º PAVIMENTO.....	64
4.3.2	SEGUNDO CICLO DE APRENDIZAGEM: CICLO II – 2º PAVIMENTO	70
4.3.2.1	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE LMPM DO 2º PAVIMENTO.....	70
4.3.2.2	MONTAGEM DOS PAINÉIS DE LMPM DO 2º PAVIMENTO	72
4.3.3	TERCEIRO CICLO DE APRENDIZAGEM: CICLO III: 3º PAVIMENTO	74

4.3.3.1	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE LMPM DO 3º PAVIMENTO.....	74
4.3.3.2	MONTAGEM DOS PAINÉIS DE LMPM DO 3º PAVIMENTO	76
4.4	FASE C: ANÁLISE E REFLEXÃO.....	80
5	DIRETRIZES PARA PADRONIZAÇÃO DO PROJETO PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE LMPM 83	
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	83
5.2	DIRETRIZES PRELIMINARES	85
5.3	DIRETRIZES GERAIS	85
5.4	DIRETRIZES ESPECÍFICAS E DETALHES GRÁFICOS	87
6	CONCLUSÃO	103
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	105
	REFERÊNCIAS.....	107

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil (ICC) possui grande relevância na economia mundial, porém, também é uma indústria conhecida por baixos índices de produtividade e altos índices de desperdícios. Assim, estima-se que a baixa produtividade desse setor custará a economia mundial mais de US\$ 1,6 trilhões (IBRAHIM; HANNA; KIEVET, 2018). Os índices de produtividade da ICC sofrem um declínio desde década de 60, na contramão das demais indústrias não agrícolas, que melhoram sua produtividade a cada ano (HANNA *et al.*, 2016; TEICHOLZ, 2013). No Brasil a ICC é caracterizada por baixos índices de industrialização e mecanização dos trabalhos; assim os índices de produtividade de seus trabalhadores representam apenas 15% dos estadunidenses (MELLO; AMORIM, 2009).

Neste sentido, se destaca a execução de lajes maciças, indicada como um ponto sensível na construção de edifícios por diversos autores. No âmbito da segurança e ergonomia, a concretagem das lajes maciças *in loco* se caracteriza como uma atividade crítica e que demanda grandes esforços físicos. Por outro lado, os gestores de obras possuem uma grande dificuldade no controle de desperdícios durante a concretagem. Além disso, o tempo de escoramento dessas lajes, quando não planejado adequadamente, impede a execução de outras atividades e prejudicam o fluxo de produção das obras.

Assim, desde o início do século, cresce na ICC o interesse pela adoção da *Off-Site Construction (OFC)*, que consiste em aumentar os índices de industrialização das obras, levando parte dos serviços para ser executado em ambientes controlados (HOSSEINI *et al.*, 2018). Neste sentido, as lajes maciças pré-moldadas (LMPM) se tornam uma alternativa para a redução desses desperdícios, dos riscos do trabalho em altura e dos problemas de planejamento trazidos pelo tempo de escoramento. Assim, a pré-moldagem, ainda que realizada no próprio canteiro, permite a produção das lajes em um ambiente mais controlado, com uma maior repetição das atividades e com menos risco aos trabalhadores. Neste sentido, ressalta-se o emprego do termo “pré-moldado” para se referir a essas lajes, pois, este pode ser utilizado tanto para elementos produzidos em canteiro, quanto para elementos produzidos em ambientes controlados. Essas lajes podem ser produzidas em painéis biapoiados de larguras padronizadas, com juntas de ligação armadas entre os painéis. Ou ainda, em placas com as exatas dimensões dos ambientes, em que as juntas de ligação coincidem com os apoios das paredes; método esse utilizado em grande escala por diversas construtoras.

No caso das LMPM produzidas em painéis de largura fixa, por um lado, existe ainda a necessidade do grauteamento das juntas para evitar a fissuração nas emendas. Além disso, é necessário realizar o içamento e nivelamento de uma quantidade maior de peças, em relação as LMPM produzida em placas. Por outro lado, traz vantagens na produção

industrializada, pois permite que a produção seja feita em painéis de largura fixa e grandes dimensões e posteriormente cortados e comercializados conforme a demanda.

Já em relação as LMPM produzidas em placas, por um lado, seu processo de montagem é mais simples, pois, como as placas são produzidas nas dimensões dos ambientes, dispensa-se a necessidade de grauteamento das juntas. Além disso, como as juntas ocorrem somente sobre as paredes, o nivelamento dos painéis é executado com mais facilidade, além de dispensar a necessidade de acabamento inferior, quando a fabricação é feita com um bom controle de qualidade. Por outro lado, esse sistema traz dificuldades para a produção industrializada, pois, além da questão do transporte de peças de grandes dimensões, há uma grande variação nas dimensões de ambientes nas obras, em que as peças necessitam de uma fabricação personalizada. Essa dificuldade também ocorre na produção em canteiro de obras, pois dentro de uma mesma obra existe a necessidade de vários tipos de placas diferentes, e conseqüentemente, uma maior quantidade de formas e maior espaço para sua produção.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar de diversos estudos priorizarem a abordagem da produção industrializada fora do canteiro de obras, no caso das LMPM, a produção *in loco* ainda prevalece entre as empresas construtoras. Isso ocorre pois, apesar de os desafios da produção em canteiro, muitas adversidades inviabilizam sua produção industrializada, como: a falta de padronização das placas, a dificuldade de sincronia entre os fabricantes e o fluxo da obra. Neste sentido, estudos apontam que, em alguns casos, a produção de pré-moldados *in loco* pode ser mais vantajosa (LIM *et al.*, 2020; MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014). Com isso, as lajes pré-moldadas se diferenciam dos demais elementos devido à dificuldade de padronização de dimensões, dificultando a montagem das formas. Isso ocorre, pois, as lajes maciças pré-moldadas possuem as mesmas dimensões dos ambientes, tanto em largura, quanto em comprimento. Os demais elementos, como vigas e pilares, possuem seções transversais padronizadas, e somente o comprimento variável, facilitando a produção em fábrica. Uma alternativa para este problema são as lajes em painéis, sejam maciças, alveolares ou treliçadas.

Assim, as LMPM produzidas em painéis de largura fixa se apresentam como uma alternativa de produção padronizada, tanto na fabricação *off-site* como na produção *in loco* (no próprio canteiro de obras). Neste caso, a etapa de projeto é fundamental para a eficiência do sistema, pois se trata de um processo extremamente fragmentado, envolvendo diversos profissionais e apresentando conflitos de diversas interfaces. Além disso, apesar de diversos estudos relacionarem a etapa de projeto com a eficiência do sistema de produção (MELHADO;

HENRY; SEGNINI, 2006; SETIA; PATEL, 2013; VIVAN, 2011; YI; CHAN, 2014), essa ainda é caracterizada por apresentar um baixo desempenho e indefinições (IBRAHIM; HANNA; KIEVET, 2018; MELHADO; FABRICIO, 1998).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é propor diretrizes para padronização de Projeto para Produção de LMPM, considerando painéis biapoiados de dimensões padronizadas, com ênfase nos detalhes executivos que incluam os processos de produção, dispositivos de içamento (DI), nichos para passagem de instalações, ligações de painéis e projeto de um sistema de formas personalizável.

Além disso, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Definir o melhor sistema de formas para atender as diversas dimensões e disposição de instalações;
- Definir o melhor dispositivo de içamento para os painéis;
- Definir o melhor sistema de ligação para os painéis;
- Definir a melhor disposição para ligação das tubulações elétricas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este estudo se justifica pela escassez de estudos que avaliem a produção de painéis padronizados de LMPM em canteiro de obras, bem como os detalhes construtivos, identificado na Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) *Roadmap* deste trabalho. Além disso, no que se refere ao processo de projeto, torna-se relevante a elaboração de estudos que promovam melhorias no desempenho destes, tendo em vista seu baixo desempenho no cenário atual da ICC (IBRAHIM; HANNA; KIEVET, 2018; MELHADO; FABRICIO, 1998).

Outro ponto importante, é a relevância das atividades de execução de lajes em edificações verticais, tanto em relação à ergonomia e segurança (CARVALHO; PALIARI, 2017) quanto em relação a quantidades de outras atividades da obra que dependem da finalização desta para serem iniciadas. Por outro lado, é grande a variabilidade no consumo de materiais encontrada na execução destes elementos. Neste sentido, Formoso *et al.* (2002) concluíram que, em média, as lajes em obras de edifícios residenciais apresentam uma sobresspesura de 5,4% em relação as medidas especificadas em projeto e que, os volumes de concreto são, em média, entregues 3,6% abaixo do solicitado, tornando-se relevante o aprimoramento da industrialização de setores da construção civil, principalmente a produção de lajes em construções residenciais.

Assim, um processo que tem grande importância na melhoria de um sistema de produção, é o de projeto (MELHADO; HENRY; SEGNINI, 2006; SETIA; PATEL, 2013; VIVAN, 2011; YI; CHAN, 2014), principalmente se tratando de sistemas que apresentem uma alta variabilidade. Os projetos para produção se configuram como uma ferramenta de planejamento, apresentando bons resultados na redução de conflitos, redução de erros e aumento da eficiência nos processos de fabricação (AQUINO; MELHADO, 2001; MELHADO; FABRICIO, 1998; SILVIO BURRATTINO MELHADO, 1994). Ademais, ressalta-se a importância do uso de projetos para produção na fabricação de painéis padronizados, pois, em produções deste tipo, falhas na elaboração ou na compreensão de projetos podem ocasionar uma maior repetição de erros construtivos. Isso ocorre, pois, um mesmo tipo de elemento será fabricado repetidas vezes e fora do local final de uso. Assim, uma eventual falha de produção poderá ser percebida somente na fase de montagem, quando a produção já estiver sido finalizada.

1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa consiste na proposição de diretrizes para padronização de Projeto para Produção de Painéis de LMPM com largura padronizada (fixa), incluindo detalhes executivos, sistema de formas, dispositivos de içamento e compatibilização das interfaces de subsistemas (hidráulico e elétrico).

Estas diretrizes buscam subsidiar a tomada de decisões que antecedem o projeto para produção, como: estabelecer a ordem de elaboração dos projetos, escolha do equipamento para içamento (*munk*, grua ou guindaste) e seu posicionamento no canteiro de obras, assim como o posicionamento do local para a produção das LMPM. Inclui também a sequência de produção e diretrizes para a paginação dos painéis no pavimento a ser executado.

Delimita-se a utilização dos painéis projetados para edificações de até seis pavimentos, multifamiliares ou unifamiliares, com vãos compatíveis ao uso residencial e as diretrizes têm como público-alvo engenheiros e construtores de obras de pequeno e médio porte, que utilizam lajes maciças de concreto. Para este público, as diretrizes visam viabilizar o uso das LMPM ao invés de laje de concreto convencionais, permitindo uma redução dos desperdícios e redução do custo de produção, assim como a redução de prazos de execução uma vez que não há a necessidade de escoramento das lajes nos pavimentos e a cura destas no local definitivo, já que este procedimento é feito durante a produção das LMPM. Soma-se a isto, a possibilidade de diferenciar as equipes de execução, permitindo que uma equipe diferente produza a laje sem interferir no fluxo de trabalho da alvenaria.

Não serão abordados nesta pesquisa: o dimensionamento estrutural das armaduras e dispositivos de içamento, as análises de adequação termoacústicas e das normas técnicas

de desempenho. Além disso, não serão abordados: a caracterização estrutural do concreto, as recomendações para cobrimento das armaduras e as interferências estruturais entre as lajes e as alvenarias/vigas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por mais 5 capítulos, além deste capítulo introdutório, sendo eles:

- Capítulo 2 – Consiste na fundamentação teórica do trabalho, em que são abordados conceitos acerca das LMPM e de Projetos para Produção, bem como as abordagens da filosofia *Lean*.
- Capítulo 3 – Consiste no Método de Pesquisa, em que são descritos a estratégia de pesquisa, o detalhamento das atividades do estudo e as suas delimitações.
- Capítulo 4 – Consiste na apresentação dos Resultados, em que são apresentadas as análises de projeto realizadas, bem como o acompanhamento *in loco* das produções dos painéis de LMPM.
- Capítulo 5 – Consiste na apresentação das Diretrizes, objeto deste estudo. São apresentados as proposições e os exemplos de um Projeto para Produção de Painéis padronizados de LMPM.
- Capítulo 6 – Consiste na apresentação das Conclusões da pesquisa, sendo descritas as considerações finais acerca do estudo, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os conceitos, definições e a descrição do sistema de produção das LMPM. Além disso, serão apresentados os conceitos de projeto e produtividade, bem como as abordagens da filosofia *Lean* sobre estes e na produção de pré-fabricados. Por fim, serão abordados conceitos de projetos para produção.

2.1 SISTEMA DE LAJES MACIÇAS PRÉ-MOLDADAS

2.1.1 DEFINIÇÕES

As LMPM também são denominadas “Lajes Prontas Maciças” por Melo (2007), que as descreve como lajes pré-fabricadas em painéis padronizados. Já algumas construtoras brasileiras denominam como “Lajes tipo Book” as lajes produzidas em canteiros com as exatas dimensões dos ambientes. O nome se justifica devido as peças serem produzidas uma sobre as outras, como as páginas de um livro. Esses elementos são classificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017) como Elementos Pré-moldados ou Elementos Pré-fabricados. Os Elementos Pré-moldados são aqueles fabricados fora do local final de utilização, isto é, em fábricas ou no próprio canteiro de obras, devendo seguir os parâmetros da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). Já os Elementos Pré-fabricados, são assim classificados quando fabricados em ambientes controlados e por mão de obra treinada, isto é, seguindo o controle de qualidade dos materiais utilizados, bem como das peças fabricadas. Por outro lado, entende-se que as LMPM podem ser classificadas como Pré-Moldadas de canteiro por El Debs (2000) e como Elementos Pré-Moldados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), pois, usualmente são elementos fabricados em ambientes não controlados e sem mão de obra especializada. Assim, quando os painéis são fabricados em ambientes controlados, em fábricas, essas podem ser denominadas Lajes Maciças Pré-Fabricadas (LMPF).

2.1.2 SISTEMA DE PRODUÇÃO *IN LOCO*

O sistema de produção de lajes maciças pré-moldadas *in loco* consiste na fabricação desses elementos no próprio canteiro de obras, fora do local de utilização, e suas características de produção se assemelham a fábricas artesanais ou de média mecanização (EL DEBS, 2000). Diversos autores analisaram os procedimentos de execução *in loco* dessas lajes por construtoras (QUAGLIO, 2018; SILVA; MOURA; CAMPOS JUNIOR, 2012; SOTOMAYOR, 2017; TEIXEIRA; MARTINELLI; GUIMARÃES, 2016). Assim, o processo de produção das LMPM pode ser dividido em dois ciclos:

- a) **Produção das LMPM:** primeiramente é preparada a pista de concretagem, que visa ser utilizada como forma para as primeiras lajes a serem concretadas. Feito isso, são montadas as formas metálicas para contenção lateral do concreto; essas são apoiadas inicialmente sobre a pista de concretagem e após a primeira laje concretada, são apoiadas sobre a laje inferior. Com isso, coloca-se as armaduras positivas sobre os espaçadores. Em seguida, executa-se a tubulação elétrica, caixas de luz e furos para passagem de tubulações hidráulicas. Com a armações e instalações prontas, executa-se o lançamento e adensamento do concreto, e antes do processo de pega, faz-se o alisamento da superfície com a máquina alisadora de concreto (Figura 1). Por último, retiram-se as formas laterais e faz-se o deslocamento da laje, com o auxílio de Macacos Hidráulicos, posteriormente monta-se para a laje seguinte, apoiada na laje recém concretada, iniciando-se um novo ciclo. A estratégia utilizada para esse tipo de produção das LMPM em canteiro é a utilização de formas “deslizantes”. Nesse sistema, as lajes são concretadas umas sobre as outras, para que o elemento de baixo seja utilizado como forma para o elemento de cima, e as formas laterais são reaproveitadas na mesma sequência. A sequência de etapas do primeiro ciclo de produção de LMPM é apresentada na Figura 2.

Figura 1 - Alisamento laje maciça moldada no canteiro



Fonte: (SILVA; MOURA; CAMPOS JUNIOR, 2012)

Figura 2 - Primeiro Ciclo de Produção das LMPM



Fonte: Autor.

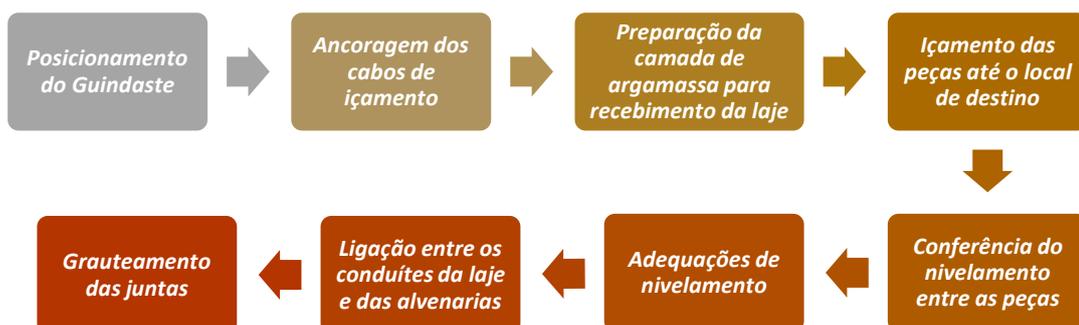
- b) Içamento das LMPM: primeiramente posiciona-se o guindaste no canteiro de obras e ancoram-se os cabos nos pontos de ancoragem da laje. Em seguida preparam-se as paredes e vigas que receberão a laje com uma camada de argamassa para regularização da superfície de contato e, posteriormente, executa-se o içamento até o local correspondente no edifício. Feito isso, repete-se este ciclo até o posicionamento de todas as lajes. Em seguida, confere-se o nivelamento entre elas e, sendo necessário, são realizadas as adequações. Após realizado o nivelamento, executa-se a ligação entre as tubulações elétricas da laje e da alvenaria. Por fim, executa-se o grauteamento das juntas para unificação da superfície. A altura dos edifícios é um ponto importante a se analisar em relação ao içamento das LMPM. O ideal é a utilização de LMPM para edifícios de até cinco pavimentos de altura, para a possibilidade de se utilizar guindastes de baixa capacidade. Também é necessário avaliar o espaço físico livre no canteiro de obras, que deve comportar as áreas de manobra do guindaste, o estoque de lajes e a pista de fabricação. Na Figura 3 ilustra-se o içamento de LMPM enquanto na
- c) Figura 4 são apresentadas as etapas do segundo ciclo de produção das LMPM.

Figura 3 - Içamento das LMPM



Fonte: Silva, Moura e Campos Junior (2012)

Figura 4 - Segundo ciclo de produção das LMPM



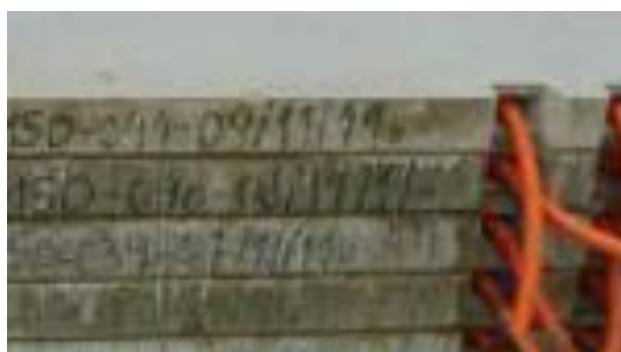
Fonte: Autor.

Em lajes maciças, para edificações residenciais, é importante a previsão de tubulação elétrica embutida. Assim, nas LMPM a tubulação é colocada na montagem da laje, antes da concretagem. Porém, um ponto importante, é a previsão de “esperas de ligação” desta tubulação nas emendas de painéis. No caso dos painéis de laje com as dimensões dos ambientes, são previstos os “nichos elétricos”, onde pode ser realizada tanto a ligação entre eletrodutos “painel x painel”, quanto a ligação “painel x alvenaria”. Além disso, vale ressaltar que, neste caso, as ligações são feitas sempre sobre as alvenarias, sendo assim, não existe a necessidade de forma inferior durante o grauteamento das ligações. A Figura 5 ilustra os dois tipos de ligação de eletrodutos em LMPM.

Figura 5 - Nichos elétricos



(a) Emenda de eletrodutos entre o painel e alvenaria

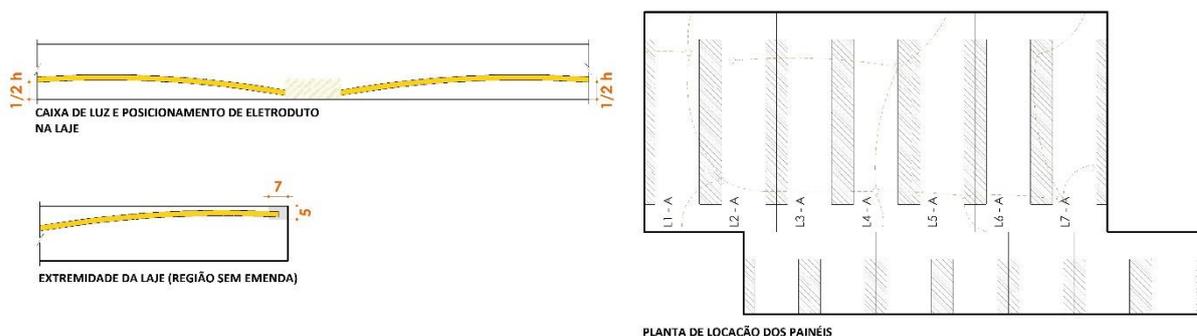


(b) Nichos elétricos nas LMPM com as esperas de eletrodutos

Fonte: (SILVA; MOURA; CAMPOS JUNIOR, 2012)

Já nas LMPM em painéis padronizados, essa ligação ocorre muitas vezes no meio dos ambientes. Assim, os nichos elétricos convencionais necessitariam de forma inferior para o grauteamento. Melo (2007) propõe que a ligação ocorra nas regiões de emendas de armadura, que ocorrem na porção superior do painel. A Figura 6 ilustra as regiões de emendas de armadura e eletrodutos.

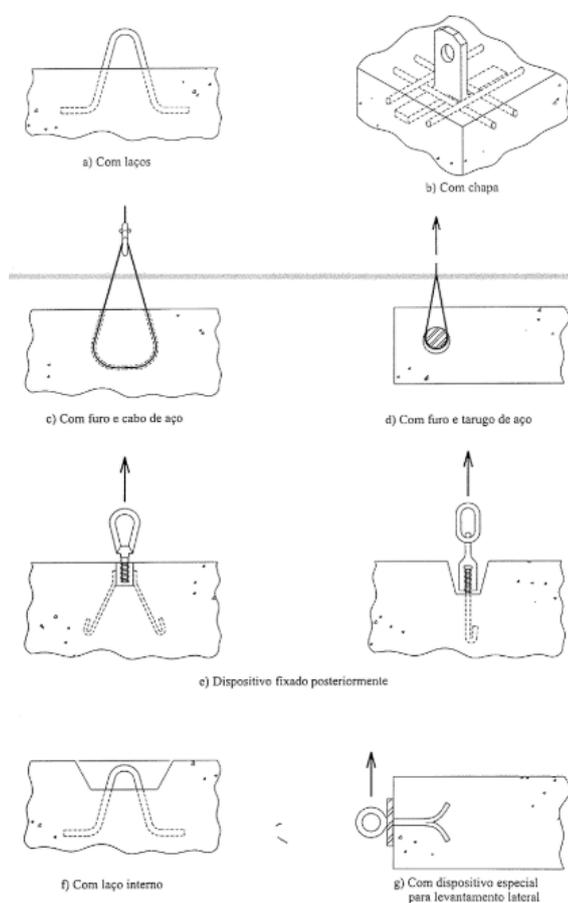
Figura 6 - Região de emendas de armadura



Fonte: Adaptado de Melo (2007)

Os dispositivos de içamento são o elo entre os painéis de laje e o cabo de içamento do guindaste responsáveis pela movimentação e manuseio das peças e são classificados como dispositivos internos e externos. Os dispositivos internos podem ser constituídos por laços ou chapas chumbadas, orifícios e argolas; já os externos podem ser constituídos por balancins, prensadores transversais, braços mecânicos e ventosas. Os dispositivos internos mais utilizados são apresentados na Figura 7 e, dentre eles, o dispositivo mais utilizado é a alça de içamento (item “a” da Figura 7), que consiste em um gancho de aço aparente e uma porção de aço submersa no concreto responsável pela ancoragem (EL DEBS, 2000; MELO, 2007).

Figura 7 – Dispositivos Internos



Fonte: (EL DEBS, 2000)

Para o dimensionamento dos dispositivos de içamento, algumas recomendações devem ser seguidas. Assim, devem ser consideradas as solicitações decorrentes das situações transitórias, ou seja, os esforços aos quais a peça é submetida durante o içamento (EL DEBS, 2000; MELO, 2007). Além disso, em caso de dispositivos de aço, é recomendada a utilização de aço CA-25, ou cordoalhas de proteção, visto que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017) veda a utilização dos aços CA-50 e CA-60. Em relação aos esforços

solicitantes, os dispositivos devem ser projetados para suportar quatro vezes a carga a ser içada.

Nas LMPM, os posicionamentos de dispositivos de içamento utilizados pelas construtoras podem ser classificados como (QUAGLIO, 2018; SILVA; MOURA; CAMPOS JUNIOR, 2012; SOTOMAYOR, 2017; TEIXEIRA; MARTINELLI; GUIMARÃES, 2016): ganchos posicionados sobre o plano superior do painel e ganchos posicionados lateralmente na seção transversal do painel (Figura 8). No primeiro caso, existe uma maior facilidade durante o processo de içamento e montagem, pois, não existem obstáculos para a fixação dos painéis ao guindaste. Porém, esse posicionamento exige alguns cuidados para a produção dos painéis empilhados, sendo necessário que os ganchos fiquem alinhados com o plano superior dos painéis e sejam cobertos por placas de EPS. Esse nivelamento do plano superior é necessário para a concretagem do próximo painel a ser executado. Já no segundo caso, não existe a necessidade de nenhum acabamento especial durante a concretagem, pois, esse posicionamento não interfere na execução dos painéis seguintes. Porém, faz-se necessária a execução de nichos nas formas dos painéis, para que os ganchos fiquem alinhados com a face transversal da laje. Além disso, é necessária uma paginação desses nichos durante a montagem, para que seja possível a remoção dos pinos dos ganchos de içamento após a colocação dos painéis, um ao lado do outro, no pavimento.

Figura 8 - Ganchos de içamento



(a) Içamento de painel com dispositivo com laço interno

Fonte: Quaglio (2018)



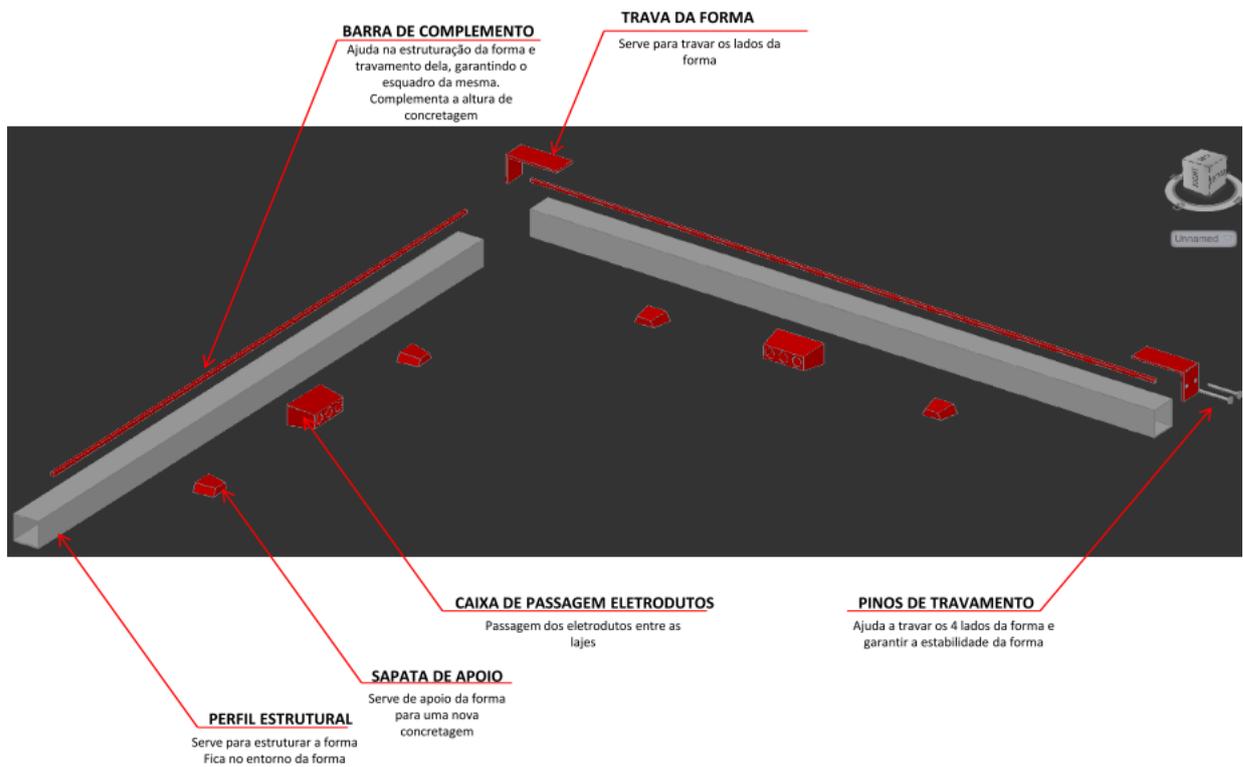
(b) Içamento de painel com dispositivo especial para levantamento lateral

Fonte: Silva, Moura e Campos Junior (2012)

Nos sistemas de produção analisados, o sistema de formas é constituído por perfis tubulares, barras quadradas e peças de chapas dobradas de aço estrutural. A contenção do concreto é feita por perfis tubulares 80 x 80 x 2 mm com um complemento de barra quadrada 10 x 10 mm, perfazendo uma altura total de 9 cm. Além disso, possui o travamento lateral dos perfis em chapa de aço # ¼" dobrada e pinos de travamento de Ø ½". Possui também, os nichos para ganchos, eletrodutos, e sapatas de apoio para as formas, ambos em chapa

dobrada # 2 mm, executados em formatos cônicos, para auxiliar a remoção da forma após a concretagem. Assim, o sistema de formas deve ser desmontável para garantir as dimensões e o esquadro dos perfis em todos os painéis. As travas são soldadas a um perfil e envolvem o perfil ortogonal a ela, garantindo o ângulo de 90° entre as peças. Além disso, os pinos de travamento são fixados nas travas e nos perfis, em furações previamente executadas, garantindo assim, o espaçamento entre os perfis paralelos e as dimensões dos painéis de laje. Já as sapatas de apoio têm a função de apoiar o sistema de formas sobre o painel inferior (já concretado). Porém, vale ressaltar que esse elemento não é necessário nos painéis com pinos de içamentos na seção transversal. Neste caso, o próprio nicho dos ganchos exerce essa função. Na Figura 9 é demonstrado um projeto de formas para LMPM enquanto na Figura 10 é demonstrado um sistema de formas montado em uma pista de concretagem.

Figura 9 - Perfis do sistema de formas

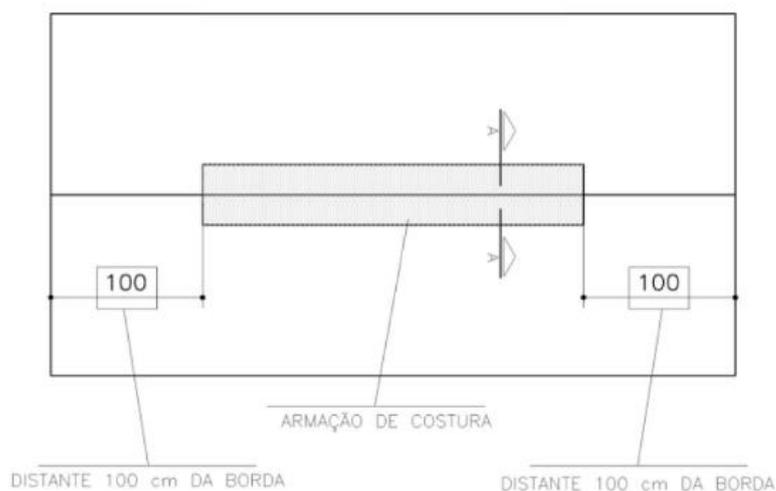


Fonte: MRV

Figura 10 - Montagem das formas na pista de concretagem

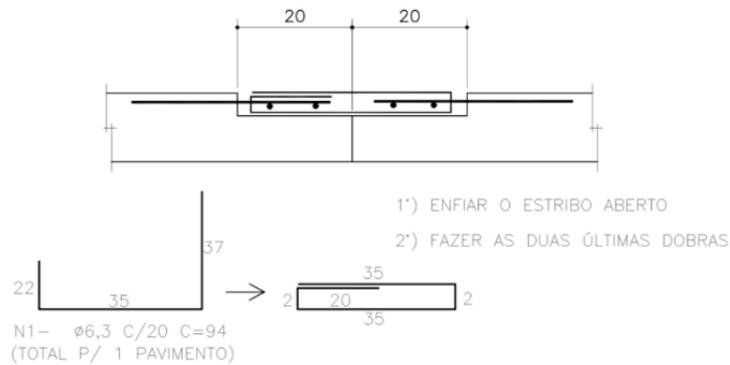
Fonte: Silva, Moura e Campos Junior (2012)

No caso das lajes em painéis padronizados existe a necessidade de se executar a ligação dos painéis com um grauteamento posterior ao içamento das peças. Os nichos de ligação são executados com 20 cm de largura e a 100 cm de distância das bordas de apoio das lajes, conforme ilustrado na Figura 11 (MELO, 2007). Nesses nichos são inseridas as esperas da armadura de costura, que são ancoradas ao concreto pré-moldado da peça e ao graute, solidarizados por um estribo 35 x 2 cm, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 11 - Nichos de ligação dos painéis

Fonte: Melo (2007)

Figura 12 - Armadura de costura



Fonte: Melo (2007)

A seguir são listados os principais equipamentos e ferramentas utilizados para a fabricação das LMPM em canteiro de obras, bem como suas principais funções:

- a) **Macaco Hidráulico tipo jacaré:** este equipamento de acionamento hidráulico, ilustrado na Figura 13, é utilizado para o içamento dos pontos de ancoragem na etapa do deslocamento das peças nos estoques de lajes empilhadas.

Figura 13 - Macaco hidráulico tipo jacaré



Fonte: Disponível em <https://fortg.com.br/>

- b) **Alisadora de concreto:** este equipamento, ilustrado na Figura 14, auxilia os operários no alisamento da superfície das peças, removendo as irregularidades do concreto. Possui motor movido à combustão.

Figura 14 - Alisador de concreto



Fonte: Disponível em: <https://naganoprodutos.com.br/>

- c) **Formas Metálicas:** utilizadas na etapa de Concretagem das Peças; as formas (Figura 15) devem possuir sistemas de travamento e de desmontagem de fácil manuseio, além de conter os ressaltos para encaixe dos eletrodutos e ganchos de ancoragem laterais.

Figura 15 - Forma das LMPM



Fonte: Silva, Moura e Campos Junior (2012)

- d) **Guindaste Telescópico:** este veículo, ilustrado na Figura 16, possui mesa giratória 360° e lança que se estende e se retrai, conforme a necessidade. Possui ainda um sistema de fixação e estabilização em relação ao solo, chamado de “patolamento”.

Figura 16 - Guindaste telescópico



Fonte: Disponível em: <http://www.xcmg-america.com/>

2.2 PROJETOS PARA PRODUÇÃO

2.2.1 PROCESSO DE PROJETO E A PRODUTIVIDADE

A ICC apresenta algumas peculiaridades em relação ao processo de projeto, pois, o processo de produção deste segmento caracteriza-se por ser extremamente fragmentado e por envolver profissionais de áreas distintas (VIVAN, 2011). Assim, o projeto de edifícios apresenta uma grande contribuição ao aumento da eficiência no processo de produção de obras e, segundo Melhado *et. al.* (2006) e Vivan (2011), pode ser estruturado em três fases, sendo elas: a concepção das exigências para a construção, a concepção do produto e a concepção da execução das obras. Neste sentido, Melhado (1994) entende que a função do projeto deve contemplar, além das características do produto, os detalhes do seu processo

de produção. Contudo, as improvisações em canteiro de obras, que caracterizam a ICC, podem ser relacionadas a indefinições na fase de projeto, afetando diretamente a eficiência do processo (MELHADO E FABRICIO 1998).

A produtividade é considerada um indicador de eficiência em um sistema de produção, estabelecendo uma relação entre os insumos, os meios de processamento e o produto final (YI; CHAN, 2014). Assim, esse conceito é relacionado aos processos de industrialização e a produção enxuta na construção civil. Contudo, muito dos ganhos em eficiência na ICC advém da fase de planejamento e projeto, que vem se tornando objeto de estudo por gerentes de projetos e pesquisadores de todo o mundo (SETIA; PATEL, 2013). No atual cenário da ICC, há muitos relatos de baixo desempenho de projetos (IBRAHIM; HANNA; KIEVET, 2018) o que acarreta extrapolação no tempo de conclusão, no valor orçado e nas funcionalidades requisitadas pelos clientes (HE *et al.*, 2019). Segundo (IBRAHIM *et al.*, 2017), essas extrapolações são mais perceptíveis em megaprojetos, que possuem um maior acompanhamento de indicadores, sendo que entre eles, cerca de 98% apresentam desvios de custos orçados e prazos de entrega. Assim, pode-se notar uma forte relação entre o desempenho de projetos e os ganhos de eficiência na ICC.

Um tema muito estudado acerca de projetos e produtividade consiste na elaboração de cronograma para obras de construção civil, que tem como principal objetivo a estimativa do prazo de execução das atividades. Uma relação entre a gestão da produção e a produtividade da mão de obra foi proposta por Ibrahim *et al.* (2020), que concluiu uma perda de produtividade ao se executar o Trabalho Fora de Sequência (TFS). O TFS corresponde a trabalhos antecipados forçadamente devido a alterações inesperadas no fluxo de trabalho. Os autores ainda afirmam que 15% das atividades executadas em uma obra são classificadas como TFS, e estas podem aumentar em até 33% o prazo de execução final em relação ao prazo pré-determinado. O conceito de TFS está altamente relacionado a redução da variabilidade da produção, sendo um dos princípios da produção enxuta, propostos por Koskela (1992).

Diversos autores têm estudado novos métodos para elaboração de projetos, bem como sua relação com a eficiência dos sistemas de produção. Os algoritmos para elaboração de projetos executivos de obras de construção civil também exercem um papel fundamental na melhoria dos índices de produtividade da mão de obra. Neste sentido, Minayhashemi *et al.* (2020) desenvolveram um algoritmo para elaboração de projeto e planejamento de sistema de içamento em obras. Segundo os autores, o sistema proposto auxilia os engenheiros na elaboração dos projetos de içamento, reduzindo erros e aumentando a eficiência do transporte vertical. Em um estudo realizado em 50 módulos de içamento, observou-se uma redução de 42 horas no tempo total de trabalho, representando uma média de 50 minutos por módulo.

Singh, Deng e Cheng (2018) também desenvolveram um algoritmo para elaboração de projetos de instalações hidráulicas na plataforma BIM. Esse sistema visa realizar um dimensionamento automatizado das tubulações de edifícios para evitar a utilização de diâmetros superestimados. Os autores concluem que essa perda incorporada de material também afeta a produtividade da mão de obra, que precisará processar mais material do que o realmente necessário, e da fábrica, que precisará produzir materiais em especificações superiores. Essa relação, traçada pelos autores, referencia os ganhos de produtividade não somente para os operários da obra, mas também para toda a cadeia produtiva.

Zheng, Yi e Lu (2019) também propuseram um algoritmo para a elaboração de projetos de corte e dobra de aço em lajes de concreto armado visando otimizar os cortes, ganchos e emendas das barras de aço. Os autores concluem que o algoritmo foi capaz de reduzir a quantidade de cortes, as perdas de material, bem como os estoques necessários para a execução do serviço.

Outro tipo de projeto relacionado a ganhos de produtividade, são os projetos de forma de laje. De acordo com trabalhos realizados por Lee *et al.* (2018), na Coreia do Sul, e por Mohammadi *et al.* (2016), no Irã, que visaram a proposição de algoritmos para automatização de formas de laje, a redução dos cortes e a utilização de mais placas de forma em medidas padronizadas, promoveram um aumento na produtividade da mão de obra. Isso se deveu à redução da quantidade de cortes nas placas, que permitiram ao operário realizar a mesma área de forma em menor tempo.

Diante do exposto, salienta-se a importância da fase de projeto para a eficiência do processo de produção de um produto, inclusive na construção de edifícios. Entende-se que essa fase é primordial para a antecipação de tomadas de decisões importantes, que em etapas posteriores resultarão em improvisações e perda de eficiência. Assim, é de suma importância para o projetista entender todo o processo de produção, bem como as abordagens a qual este processo pode estar submetido.

2.2.2 LEAN DESIGN E A PRODUÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS

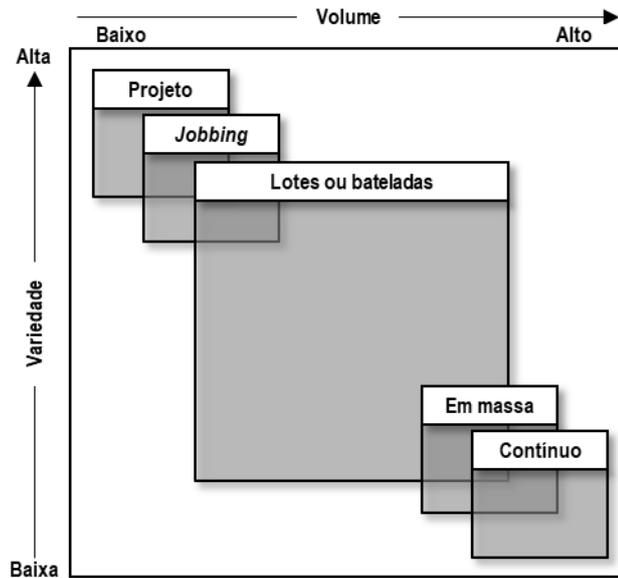
Os principais avanços de eficiência nos processos de produção ocorreram com a migração dos processos artesanais para os maquina faturados. Esses substituíram os trabalhos repetitivos produzidos por força humana pela mecanização, marcando o início da Revolução Industrial. Os processos artesanais se caracterizavam por uma baixa padronização dos produtos e não permitiam qualquer controle do processo produtivo (SLACK; CHAMBERS; JOHNNTON, 2002). A indústria têxtil preconizou a maquina fatura, substituindo a força de trabalho humana pela máquina a vapor, de James Watt, popularizando esse processo por toda a Europa, EUA e Japão no século XVIII (WOMACK; JONES; ROSS, 2001).

Após a substituição das forças de trabalho, outro fato marcou a história dos processos de produção: o surgimento da Produção em Massa, que se caracterizou por produções de alto volume e baixa variabilidade. Com os princípios da padronização dos trabalhos de Frederick Taylor e da organização da linha de montagem de Henry Ford, a produção em massa se popularizou pela redução dos custos de fabricação. Isso permitia que os produtos industrializados, produzidos em massa, possuíssem um melhor padrão de qualidade e um custo mais baixo em relação aos produtos artesanais. Desta vez, a indústria automobilística disseminou esse processo, tendo início com a produção do Ford T no ano de 1908, que se caracterizava pela produção em larga escala e pela padronização dos trabalhos. A produção em massa permitiu uma drástica redução nos custos de fabricação dos produtos, por meio da produção em larga escala. Além disso, a padronização dos trabalhos, se aplicava perfeitamente ao cenário da época, pois necessitava de uma baixa capacitação dos operários (SLACK; CHAMBERS; JOHNNTON, 2002; WOMACK; JONES; ROSS, 2001).

Além da produção em massa, processo preconizado pelo fordismo, diversos outros tipos de processos podem ser observados, pois, outras indústrias possuíam características próprias e não se adequavam a esse conceito, como a construção de um edifício, ou a produção de um navio. Nestes casos os produtos são grandes e pesados, o que impossibilita sua movimentação por uma linha de produção, ou até mesmo o seu transporte da fábrica até o cliente, sendo necessária a mobilização das forças de trabalho até o local de destino do produto. Slack, Chambers e Johnnton (2002) listam cinco tipos de processos de produção, que são classificados de acordo com a variedade e volume de produção, conforme ilustrado na Figura 17, são eles:

- a) **Processos por projeto**: são processos que se caracterizam por um baixo volume de produção e uma alta variedade; lidam com produtos com alto grau de customização;
- b) **Processos de *jobbing***: são processos que também se caracterizam por baixos volumes de produção e alta variedade, porém, se caracterizam por produtos que compartilham recursos e atividades entre si, possuindo um grau de repetição maior em relação ao processo por projeto;
- c) **Processos em lotes ou bateladas**: são processos que se caracterizam por uma produção de lotes de produtos que se repetem mais de uma vez, mesmo que possuam, ainda, um pequeno volume de produção;
- d) **Processos de produção em massa**: são processo que se caracterizam por produções em alto volume e pequenas variedades;
- e) **Processos contínuos**: são processos que se caracterizam por produções com volumes ainda maiores que os processos de produção em massa e variedades ainda mais baixas, possuindo ainda um fluxo ininterrupto de produção.

Figura 17 - Processos de transformação

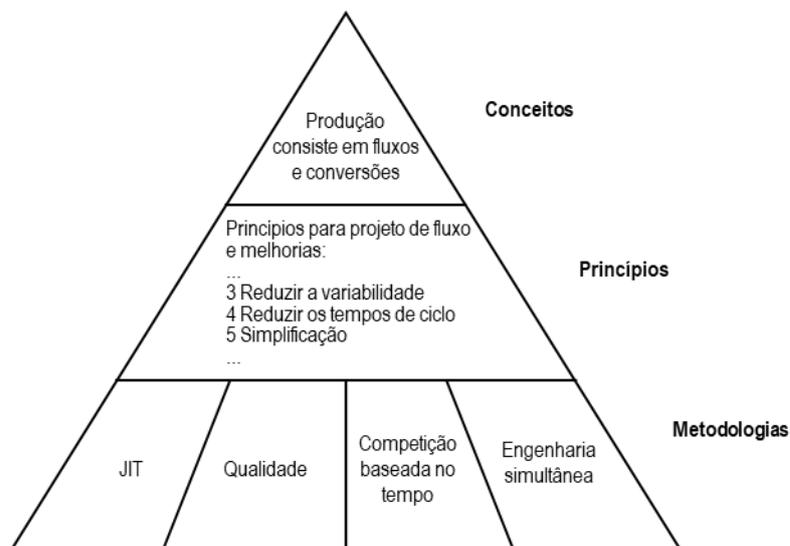


Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnnton (2002)

A partir dos anos 50 surgiram novas filosofias de gestão da produção. Eiji Toyoda, proprietário da Toyota, e Taiichi Ohno, engenheiro da empresa, propuseram melhorias ao sistema Fordista, principalmente, visando aumentar a variedade de produtos e atender melhor as demandas do mercado. Esse sistema consistia em produzir conforme as demandas dos clientes, e ficou conhecido como sistema de puxado de produção. Além disso, para conseguir a redução de custos, esse novo sistema tinha um rígido controle de redução dos desperdícios. Assim, surgiu o Sistema Toyota de Produção (STP), que também fundamentou os princípios da Produção Enxuta, que influenciaram as filosofias de gestão dos sistemas produtivos até os dias atuais (SHINGO, 1996).

Esses Processos de Transformação vêm sofrendo novas abordagens desde o final da década de 70. Essa nova abordagem é tratada como uma nova filosofia de produção e se divide em três grupos: as ferramentas (ex: *kanban*), os métodos de manufatura (ex: *Jus-in-time*) e as filosofias de gestão (ex: *lean production*). A Figura 18 representa os diferentes níveis da nova filosofia de produção (ALARCÓN, 1997).

Figura 18 - Níveis da nova filosofia de produção



Fonte: Adaptado de Alarcón (1997)

Baseando-se nesses conceitos, vários princípios heurísticos foram desenvolvidos para melhorias do Projeto do Sistema de Produção e diversas evidências validam o fato de esses princípios promoverem melhorias consideráveis na eficiência dos processos de produção. Em suma, foram propostos, inicialmente, por Koskela (1992), onze princípios que fundamentaram a *Lean Construction* (Produção Enxuta):

- a) Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor;
- b) Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes;
- c) Reduzir a variabilidade;
- d) Reduzir o tempo de ciclo;
- e) Simplificar por meio da redução do número de etapas e partes;
- f) Aumentar a flexibilidade de saída;
- g) Aumentar a transparência do processo;
- h) Focar o controle no processo completo;
- i) Melhoria contínua no processo;
- j) Equilíbrio entre melhorias nos fluxos e melhorias nas conversões;
- k) *Benchmark*.

A aplicação dos princípios da *Lean Construction*, que visa a redução de desperdícios, a fase de projeto é atualmente chamada de *Lean Design* (Projeto Enxuto) (FREIRE; ALARCÓN, 2002). Assim, diversos autores têm buscado o desenvolvimento de novas técnicas, práticas e ferramentas para aplicação dessa teoria. Uma área que tem se mostrado promissora na ICC, muito estudada quanto a aplicação dos princípios *Lean*, é a produção de Concreto Pré-Fabricado.

Considerando a redução das atividades que Não Agregam Valor (NAV) como o principal objetivo da nova Filosofia de Produção, segundo Alarcón (1997), a produção de pré-moldados possui um grande potencial de melhorias com a aplicação dessa filosofia. Isso porque, Ray, Ripley e Neal (2006) identificaram que nesse setor, 90% das atividades realizadas em fábricas de pré-moldados são consideradas NAV. Esse tipo de desperdício, nem sempre é de fácil visualização; segundo Wang *et al.* (2012) sistemas que mantêm os funcionários ocupados o tempo todo, ao contrário do que se acreditava, podem aumentar a variação da produtividade. Com isso, Ray, Ripley e Neal (2006) sintetizaram 8 tipos de desperdícios na indústria de pré-moldados, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Os oito tipos de desperdícios na indústria de pré-moldados

Tipo de Desperdício	Descrição
Movimentação	Qualquer movimentação de pessoas ou máquinas que não agreguem valor
Espera	Tempo ocioso gerado enquanto se espera por itens que não estão disponíveis no momento
Defeitos	Produtos que não estão nas especificações do solicitante
Transporte	Movimentações de trabalho sobre curtas ou longas distancias que não agreguem valor
Superprodução	Produzir mais produtos antes ou mais rápidos do que o solicitado pela próxima fase do processo
Processos	Trabalho em processos ou materiais que não agreguem valor aos produtos pela perspectiva do cliente
Pessoas	O desperdício de não usar a capacidade mental dos empregados, criatividade ou habilidades físicas

Fonte: Adaptado de (RAY; RIPLEY; NEAL, 2006).

Neste sentido, diversos estudos passaram a verificar sua aplicabilidade em diversos setores da indústria, inclusive na produção de pré-moldados. Ballard, Harper e Zabelle (2003) propuseram aplicações das técnicas *Lean* no sistema de produção de pré-moldados, inclusive na reorganização do arranjo físico, com a implantação de células de produção. As aplicações resultaram em uma redução média de 1,3 dias no tempo de ciclo dos elementos pré-moldados e em um aumento de 59% na produção de paredes pré-moldadas. Também, com a aplicação dessas técnicas, Deffense e Cachadinha (2011) propuseram um modelo à uma fábrica portuguesa para melhorias do processo de produção. Nesse caso, o Mapa do Fluxo de Valor (MFV) foi utilizado para a identificação dos gargalos de produção e para as proposições de alterações no arranjo físico, que consistiram na implantação do sistema *Just in time* (JIT). Com a implantação desse sistema, foi observada uma redução de 42% nas áreas necessárias para estoque nas fábricas, além da redução do tempo de produção das peças. Com a utilização do

MFV, Wang *et al.* (2019) também analisaram a linha de produção de fábricas de concreto pré-moldado, que também resultaram em uma redução de tempo de produção e redução nas taxas de ociosidade das estações de trabalho. Ainda com a utilização do MFV, Ahmad, Soetanto e Goodier (2019) propuseram linhas de produção de pré-moldados com o foco na redução de atividades que não agregam valor. Neste caso, a aplicação do sistema JIT permitiu uma redução do número de atividades do processo de quatorze para oito. Já no caso da fabricação de lajes pré-fabricadas, Prata, Pitombeira-Neto e Sales (2015) propuseram a aplicação do “problema de corte de estoque”. Esse problema foi proposto inicialmente por Kantorovich (1960) e consiste em um modelo matemático para equacionar os cortes de um determinado material de matrizes maiores, como rolos ou chapas, a fim de se reduzir os desperdícios. Os autores traçaram paralelo entre a produção de papel e a de lajes treliçadas pré-fabricadas. Na produção de papel, rolos de larguras padronizadas são cortados para a obtenção das folhas em comprimentos diversos, conforme a demanda, restando ao final de cada rolo uma parte do papel produzido que não se enquadrava a nenhuma demanda, ou seja, a perda. Já em relação a fabricação de lajes treliçadas, que seguindo o mesmo princípio, eram fabricadas em peças de larguras fixas em formas de dimensões padronizadas; desta maneira são posicionados os separadores de comprimentos nas formas conforme as demandas do produto, sobrando ao final de cada forma, um espaço ocioso que não se enquadra a dimensão de nenhuma demanda.

Além da produção, ressalta-se a importância do processo de montagem dos pré-moldados, que é o final de todo o processo. Assim, um ponto que baliza todo o sistema de produção é o momento em que se relaciona o produto com o pedido de um cliente, chamado de *Order Penetration Point* (OPP). Isso define se o produto vai ser produzido antes de se receber um pedido, e conseqüentemente armazenado em um estoque, chamado *Make-to-Stock* (MTS). Outro sistema é quando o pedido é feito já na fase de montagem, necessitando também possuir disponibilidade do produto em estoque, classificado como *Assemble-to-Order* (ATO). O pedido também pode ser feito por encomenda, durante o andamento da obra, classificado como *Make-to-Order* (MTO). E por fim, o pedido pode ser feito antecipadamente, ainda na fase de projeto, classificado como *Engineer-to-Order* (ETO). O Quadro 2 relaciona o pedido do cliente (OPP) com o estágio do processo de produção. (OLHAGER, 2003)

Quadro 2 - Estratégias de entrega relacionadas om o OPP

Estratégia de entrega	Projeto	Fabricação	Montagem	Expedição
Make-to-stock (MTS)				OPP
Assemble-to-order (ATO)			OPP	
Make-to-order (MTO)		OPP		
Engineer-to-order (ETO)	OPP			

Fonte: Adaptado de Olhager (2003)

Portanto, diversos estudos analisam os processos logísticos que relacionam todas essas etapas. Um modelo desenvolvido por Bataglin (2017) relacionou o uso do BIM 4D com a gestão dos processos logísticos em obras de pré-fabricados do tipo ETO. Outra relação entre o BIM 4D e as obras do tipo ETO foi traçada por Reck *et al.* (2020), que propuseram um conjunto de diretrizes para a definição dos lotes de montagem de estruturas de pré-fabricados. O sistema BIM 4D também foi utilizado por Wang *et al.* (2018) que obtiveram bons resultados na análise de conflitos de espaço de trabalho no processo de montagem de pré-fabricados. Com isso, o uso do BIM 4D tem se mostrado eficiente para tornar mais enxutos os processos de produção de pré-moldados e pré-fabricados.

Porém, para se garantir a aplicabilidade dos princípios *Lean* é necessário, muitas vezes, realizar grandes alterações de práticas gerenciais bem como de métodos de trabalho (HÖÖK; STEHN, 2008). Assim, apesar de o mercado de pré-fabricados apresentar boa aceitação dessas implementações, o mercado de construção residencial ainda apresenta uma certa resistência à adoção de métodos modularizados, inclusive em relação ao uso de pré-fabricados. Essa resistência se dá muitas vezes por conta das dificuldades de personalização desses métodos e do gerenciamento de projeto para garantir a compatibilização das interfaces. Para isso, é fundamental a adoção de ferramentas que possibilitem a adoção de métodos construtivos mais enxutos.

2.2.3 PROJETOS PARA PRODUÇÃO

Um dos grandes esforços da Construção Enxuta, para se promover ganhos de eficiência e produtividade nos projetos, é o conceito de construtibilidade (RODRIGUES, 2005), que visa facilitar a execução de uma obra, principalmente por meio de projetos (VIVAN, 2011). Assim, dentre os conceitos de projeto que objetivam melhorar sua construtibilidade, está a compatibilização, que segundo Mikaldo Jr e Scheer (2008) é a *“atividade que torna os projetos compatíveis, proporcionando soluções integradas entre as diversas áreas que tornam um empreendimento factível”*. Contudo, a compatibilização visa adequar as diferentes interfaces de uma construção, evitando conflitos posteriores durante a produção.

Diversos estudos têm apresentado os Projetos para Produção como uma ferramenta de planejamento (AQUINO; MELHADO, 2001; MELHADO; FABRICIO, 1998; SILVIO BURRATTINO MELHADO, 1994). Entende-se por Projeto para Produção, as definições da execução simultaneamente ao desenvolvimento do produto, possibilitando uma redução nos conflitos e de erros, e uma melhor eficiência no processo de fabricação (MELHADO; FABRICIO, 1998) . Já na construção de edifícios, Melhado (1994) definiu como:

Conjunto de elementos de projeto elaborados de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção em obra, contendo as definições de: disposição e sequência de atividades de obra e frentes de serviço; uso de equipamentos; arranjo e evolução do canteiro; dentre outros itens vinculados às características e recursos próprios da empresa construtora.

Esses projetos são uma importante ferramenta para a melhoria da construtibilidade, pois fornece e antecipa informações que evitam uma série de decisões tomadas, comumente, no momento da execução (RODRIGUES, 2005). Na ICC, a adoção de Projeto para Produção pode aumentar a eficiência dos processos de produção no setor de edificações, pois, as atividades de fluxo, bem como de materiais e mão de obra, também são incorporadas na fase de projeto (VIVAN, 2011).

Assim, entende-se que ferramentas como o Projeto para Produção são de grande valia na utilização de pré-moldados de canteiro, como as LMPM. Essa aplicação permite maior construtibilidade do método construtivo, auxilia na contabilização das interfaces de projeto e reduz as tomadas de decisão durante o andamento da obra.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta uma descrição do método de pesquisa utilizado para a realização desse trabalho. São descritos a estratégia de pesquisa adotada e o delineamento do processo de pesquisa.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A principal estratégia de pesquisa utilizada neste trabalho foi a Pesquisa-Ação, que se caracteriza pelo caráter participativo e intervencionista do pesquisador à situação que se pretende atuar (THIOLLENT, 1986).

Para tanto, se abordou o projeto de lajes de uma edificação de múltiplos pavimentos para a proposição inicial do Projeto para Produção de LMPM com largura fixa, assim como o seu aprimoramento a partir dos ciclos de execução destas lajes ao longo da obra visando traçar as diretrizes voltadas à padronização deste Projeto.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Em relação as atividades da pesquisa, são ilustradas no fluxograma da Figura 19, em que as ações puderam ser classificadas em três fases: Fase A - Compreensão, Fase B - Desenvolvimento e Fase C - Análise e Reflexão.

Na fase de Compreensão foram obtidas informações de livros e artigos científicos, bem como foi realizada uma revisão sistemática da literatura a fim de se obter o atual estado do conhecimento. Além disso, foram realizadas duas entrevistas com especialistas da área.

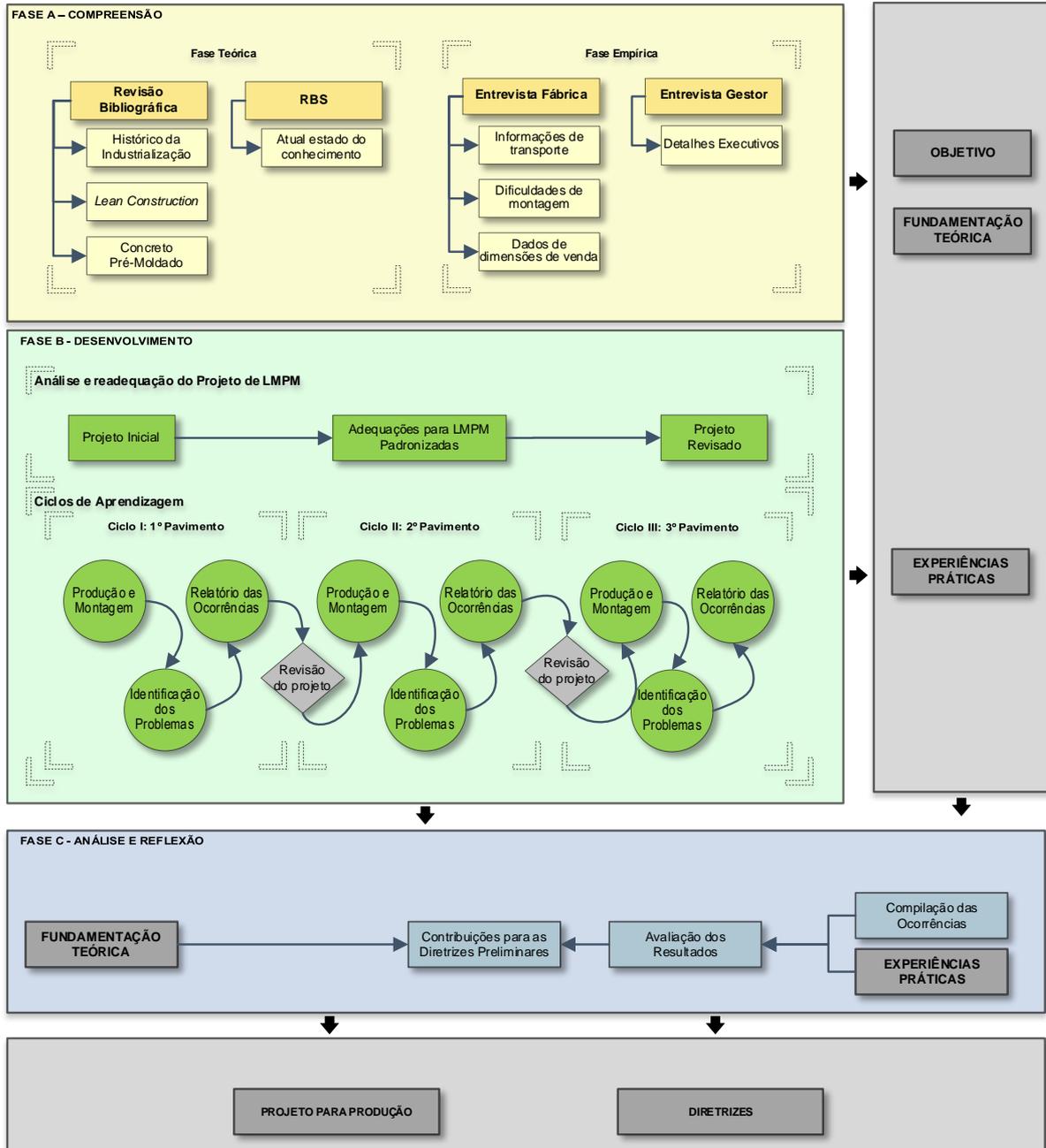
Já na fase de Desenvolvimento (ou Ação) foram adotados dois objetos de pesquisa: um projeto estrutural de lajes de uma edificação residencial de múltiplos pavimentos, fornecido por uma construtora, e o respectivo acompanhamento da sua execução. Inicialmente, o pesquisador realizou intervenções no projeto, adaptando-se para LMPM com largura fixa e nos métodos de construção durante a execução da obra, com ênfase na execução da LMPM de acordo com o projeto adaptado.

A edificação era composta por três pavimentos iguais e, portanto, foram considerados três ciclos completos de observação, análise e intervenção, denominados Ciclos de Aprendizagem, em que se relatava os aprendizados obtidos em um ciclo e as melhorias necessárias eram implementadas no ciclo seguinte, de acordo com o disposto por Van Aken (2004).

Por fim, na fase de Análise e Reflexão, realizou-se uma análise dos dados de aprendizagem, bem como de todo o embasamento teórico e empírico obtido durante as fases

de Compreensão e Desenvolvimento, resultando na proposição das diretrizes para a padronização de Projetos para Produção de painéis LMPM.

Figura 19 - Delineamento da pesquisa



Fonte: Autor.

3.3 FASE A: COMPREENSÃO

A fase de Compreensão do Problema é composta por duas etapas: Teórica e Empírica, com o objetivo de se compreender melhor o problema de pesquisa abordado neste trabalho. Por sua vez, a etapa de cunho teórico se baseou na revisão bibliográfica sobre os principais

temas envolvidos, assim como se realizou uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS). Já a etapa de caráter empírico se concentrou na realização de entrevistas de agentes vinculados à fabricação e fornecimento de LMPM.

3.3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta fase se iniciou pela revisão da literatura com base em livros e artigos científicos, tendo como principal enfoque a busca de conhecimento acerca da evolução dos sistemas de produção, desde o início da produção artesanal até os princípios da produção enxuta, identificação das principais aplicações desses princípios à produção de pré-moldados, para que o produto a ser projetado, pudesse ser compatível com as técnicas de produção recomendadas pela literatura. Por fim, buscou-se conhecer os conceitos sobre projetos para produção, coordenação modular e compatibilização de projetos. Esta etapa resultou na fundamentação teórica para o desenvolvimento do trabalho.

3.3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS) ROADMAP

Para se encontrar o atual estado da arte deste tema, objetivando se identificar a lacuna do conhecimento ao qual este trabalho pretende suprir, utilizou-se o método sistemático e replicável denominado Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) *Roadmap* proposta por (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011). A RBS *Roadmap* é dividida em três fases: Entrada, Processamento e Saída. A fase de Entrada consiste em se selecionar artigos científicos relacionados ao tema do trabalho, para isso deve-se definir as Ferramentas e Métodos de pesquisa, bem como as *Strings* de busca e os Critérios para inclusão. Já a fase de Processamento consiste na filtragem destes arquivos para se obter a lista dos artigos mais relevantes para o trabalho por meio de 3 filtros, durante o processamento de cada filtro e realizada a exclusão dos artigos que não são considerados relevantes ao tema. No Filtro 1 realiza-se a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos encontrados na busca; no Filtro 2 é realizada a leitura da introdução e conclusão dos artigos que se mantiveram na lista após o processamento do Filtro 1; no Filtro 3 é realizada a leitura completa dos artigos que permaneceram na lista após o processamento dos Filtros 1 e 2. Por fim, na fase de Saída, são realizados o arquivamento e a síntese dos artigos processados, resultando na elucidação dos objetivos da RBS *Roadmap*, a identificação do atual estado do conhecimento, bem como da lacuna do conhecimento ao qual este trabalho pretende colaborar (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

3.3.2.1 Fase de Entrada

Para a inclusão dos artigos na Etapa de Entrada da RBS *Roadmap* foi considerada a sua qualidade. Para isso, foram utilizadas as informações das bases de dados contidas no

portal Qualis-CAPES (<https://sucupira.capes.gov.br/>), na área Engenharias I. Com isso, optou-se por realizar as buscas em nas seguintes bases de dados:

- a) *Engineering Village* (www.engineeringvillage.com);
- b) *Science Direct* (www.sciencedirect.com);
- c) *Emerald Insight* (www.emeraldinsight.com);
- d) *Web of Science* (www.webofknowledge.com).

Em relação as Ferramentas de Pesquisa, foram utilizados os filtros de pesquisa avançada dos portais escolhidos para a busca. Nestes filtros foram selecionados artigos com datas de publicação não anterior a cinco anos, e selecionados apenas artigos publicados em periódicos.

Para a definição das *strings*, optou-se por termos que relacionassem a fabricação de lajes de concreto pré-moldado com a produção *in loco* e/ou com a produção enxuta. Assim, foram utilizadas as seguintes *strings* (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011):

- a) *Precast Concrete AND "Slab Production"*
- b) *Precast concrete AND Production Line AND Lean*
- c) *Concrete AND "Cutting Stock Problem"*
- d) *Precast Concrete AND Slab AND Factory*

3.3.2.2 Fase de Processamento

Na fase de processamento foram aplicados os três filtros da RBS *Roadmap* na lista de artigos obtida a partir dos critérios de busca utilizados em cada base de dados. A partir desta lista foram excluindo-se os artigos que não se enquadravam em cada filtro.

3.3.2.3 Fase de Saída

Após o processamento da lista de resultados, foram selecionados os artigos mais relevantes para o tema deste trabalho e descartados os artigos iguais encontrados em bases de dados diferentes. O Quadro 3 apresenta os oito artigos selecionados, numerados de 1 a 8. Esta numeração será utilizada para a identificação dos artigos no Quadro 4.

Quadro 3 - Artigos selecionados

Nº	TÍTULO	AUTOR(ES)	ANO
1	<i>Decision support in production planning of precast concrete slabs based on simulation and learning from examples</i>	Konczak e Paslawski	2015
2	<i>Labor crew workspace analysis for prefabricated assemblies' installation</i>	Wang <i>et al.</i>	2018
3	<i>A Construction procurement method to achieve sustainability in modular construction</i>	Molavi e Barral	2016
4	<i>Research on production process optimization of precast concrete component factory based on value stream mapping</i>	Wang, Zou e Zhou	2019
5	<i>Lean approach in precast concrete component production</i>	Ahmad e Goodier	2019
6	<i>The cutting stock problem with multiple manufacturing modes applied to a construction industry</i>	Lemos, Cherri e de Araújo	2020
7	<i>An Integer Linear Programming Model for the Multiperiod Production Planning of Precast Concrete Beams</i>	Prata, Pitombeira-Neto e Sales	2015
8	<i>Process Optimization for Cutting Steel-Plates</i>	Rothe, Reyer e Mathar	2017

Fonte: Autor.

Na fase de saída, após a leitura completa dos artigos selecionados, se realizou uma síntese destes para se identificar o atual estado do conhecimento do tema abordado neste trabalho. O Quadro 4 apresenta uma matriz de síntese do conhecimento, com uma breve síntese dos objetivos e dos resultados dos artigos selecionados, bem como, a identificação do tipo de cada artigo.

Quadro 4 - Síntese dos artigos

Nº	OBJETIVO	MÉTODO	RESULTADOS
1	Determinar os benefícios da simulação na produção de pré-moldados	Simulação computacional	Melhora de 15,25% na eficiência do processo com mudanças na tecnologia, ou e 11,86% com mudanças organizacionais
2	Produzir um modelo 4D para identificar e eliminar conflitos na montagem de pré-fabricados	Desenvolvimento de modelo em BIM 4D e comparação com um estudo de caso	A ferramenta desenvolvida demonstrou bons resultados na análise do espaço de trabalho durante a montagem de elementos pré-fabricados
3	Entender os sistemas de pré-fabricados e de construção modular para propor o melhor método para cada projeto	Definir um projeto hipotético e analisar as opções de modulações e pré-fabricações	O melhor método encontrado foi a escolha de módulos que contenham as instalações hidráulicas, mecânicas e elétricas, pois simplificam as etapas de construção
4	Analisar a linha de produção de concreto pré-moldado com a ferramenta mapa de fluxo de valor (MFV)	Coleta de dados in-loco de casso reais e analisá-los sobre a ótica da lean production e do MFV	A análise do MFV resultou em uma proposta da linha de produção da fábrica, proporcionando melhorias no tempo de ciclo, taxa de ociosidade
5	Aplicação das técnicas lean na produção de componentes de concreto pré-moldado	Coleta de dados em um estudo de caso em uma construção de concreto pré-moldado de 6 pavimentos	A identificação das atividades que não agregam valor permitiu a simplificação do processo, reduzindo de 14 para 8 atividades. além disso as ferramentas JIT e kanban garantiram um fluxo contínuo do processo
6	Desenvolver e testar um modelo do problema integrado <i>Cutting Stock Problem</i> para ser aplicado na construção civil	Aplicação do <i>Cutting Stock Problem</i> ao serviço de corte e dobra de aço em diferentes bitolas	A aplicação dos modelos computacionais promoveu uma redução de custo de 8,1% em relação aos materiais.
7	Desenvolvimento de um algoritmo para solucionar o problema de desperdício em fábricas de lajes treliçadas	Aplicação do <i>Multiperiod Cutting Stock Problem</i> ao problema de aproveitamento de formas nas fábricas, o modelo proposto foi executado no CPLEX solver	O modelo proporcionou ganhos de tempo na fase de planejamento das concretagens nas fábricas analisadas
8	Formulação de um problema de corte tridimensional de chapas de aço	A otimização do programa foi realizada no software na extensão do MATLAB, o CVX	O trabalho desenvolveu uma solução para o problema de corte de estoque em 3 dimensões, até então não solucionado na literatura

Fonte: Autor.

Após a síntese dos principais artigos relacionados ao tema deste trabalho, foram identificados poucos artigos que relacionassem as técnicas *Lean* com a produção de pré-moldados, assim como poucos artigos que comparassem a produção de pré-moldados em fábricas com a produção destes no próprio canteiro de obras. Por fim, não foram identificados

artigos que relacionassem as interferências da produção de pré-moldados em canteiro de obras com o planejamento da produção.

3.3.3 ENTREVISTAS

Foram realizadas entrevistas com as partes envolvidas no objeto desta pesquisa: fabricante de laje e gestor de obras. De início, foram elaborados dois roteiros para a condução das entrevistas: um para a entrevista com o fabricante de laje e outro para a entrevista com o gestor de obras, abordando os seguintes tópicos:

a) roteiro para fabricante de lajes:

- nome da empresa
- tempo de mercado
- entrevistado (nome, cargo, idade, escolaridade)
- volume de vendas de laje mensal
- venda de laje medida de ambientes (l x c)
- dificuldade de produzir lajes maciças
- dificuldade de alterar as matrizes (formas)
- dificuldade de estoque das lajes maciças
- dificuldade de transporte das lajes maciças
- dificuldade de montagem das lajes maciças

b) roteiro para gestor de obras:

- nome da empresa (se houver)
- tempo de mercado (se houver)
- entrevistado (nome, cargo, idade, escolaridade)
- volume de compra de laje mensal
- compra de laje medida de ambientes (largura x comprimento)
- dificuldade de comprar lajes maciças
- dificuldade de produzir *in loco* lajes maciças
- dificuldade de montagem das lajes maciças

Após o contato com os vários profissionais de interesse, aceitaram participar da pesquisa e foram entrevistados: proprietário e o engenheiro civil responsável por uma empresa fabricante de lajes e um engenheiro civil gestor de obras.

Na entrevista realizada com os profissionais da fábrica foram coletados os dados das principais dimensões de laje historicamente fabricadas e os principais impedimentos à utilização e produção das LMPM, por parte da empresa. Já na entrevista com o gestor de obras, foram abordados temas como as principais dificuldades de se produzir as LMPM *in loco*, bem como outros detalhes executivos: cura do concreto, tempo para a desforma, equipamentos para içamento, etc.

3.4 FASE B: DESENVOLVIMENTO

Conforme já apresentado, a Pesquisa-Ação teve como objeto a execução de uma edificação residencial de múltiplos pavimentos, envolvendo a adaptação do projeto de LMPM, inicialmente concebido para LMPM com dimensões iguais aos ambientes, ou seja, com dimensões diferenciadas entre ambientes, para a concepção de LMPM de largura padronizada; e o acompanhamento da execução desta obra, nos seus três pavimentos, com ênfase na execução das LMPM de largura padronizada, considerando sua produção no canteiro de obras e respectiva montagem nos pavimentos.

Neste processo foi permitido pelos responsáveis da empresa construtora sugerir alterações nos métodos de produção, baseando-se nas dificuldades identificadas a cada ciclo de execução (pavimentos). Ao final de cada ciclo realizava-se uma avaliação dos problemas e dificuldades encontradas e eram propostos novos métodos de execução que os sanassem, objeto da FASE C apresentada, na sequência.

3.5 FASE C: ANÁLISE E REFLEXÃO

A experiência obtida na execução dos três ciclos de aprendizagem, no que diz respeito às dificuldades, problemas e virtudes deste processo foi analisada juntamente com as partes envolvidas, com participação ativa deste pesquisador, resultando no embasamento para a proposição das diretrizes visando a padronização do Projeto para Produção de LMPM.

Ao final, obteve-se uma versão de diretrizes que, além de sanar as falhas detectadas, teve a aprovação das partes envolvidas, resolvendo o problema proposto conforme preconizado por Hevner (2007) e Simon (1996).

4 RESULTADOS

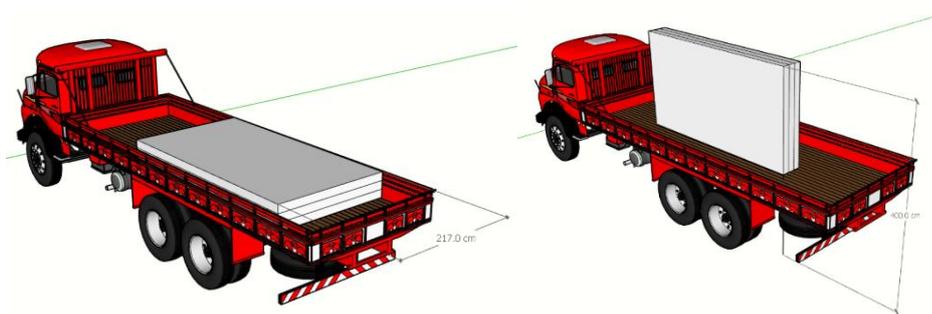
Neste capítulo são apresentados os resultados da Pesquisa-Ação, nas suas três fases contemplando a etapa de entrevistas (Fase A), as etapas da Fase B, com ênfase, na análise do projeto original das LMPM e sua adaptação para projeto de LMPM de largura padronizada e nos ciclos de aprendizagem representados pela evolução das soluções ao longo da execução dos pavimentos; e a Fase C, em que foi realizada uma análise geral dos ciclos de aprendizagem visando balizar as diretrizes para padronização do Projeto para Produção de Painéis de LMPM de largura padronizada apresentadas no capítulo 5. No que diz respeito aos resultados da RBS da Fase A da Figura 19, estes já foram apresentados no capítulo anterior.

4.1 FASE A: ETAPA DE ENTREVISTAS

4.1.1 ENTREVISTA: FÁBRICA DE LAJE

A entrevista foi realizada com o proprietário da empresa juntamente com o engenheiro responsável. Inicialmente foi realizada uma explanação para os entrevistados sobre o objetivo do trabalho, e sobre o objetivo da entrevista. Foram realizados questionamentos por parte do entrevistado a respeito da viabilidade de produção dos painéis de LMPM em fábrica considerando as dimensões dos ambientes. Os entrevistados relataram alguns problemas que a produção em fábrica enfrentaria, como: o limite de largura devido a largura de 2,37m dos seus caminhões e o limite de altura de 4,00 metros para o caso de transporte dos painéis em pé (Figura 20).

Figura 20 - Dimensões máximas de transporte



Fonte: Autor.

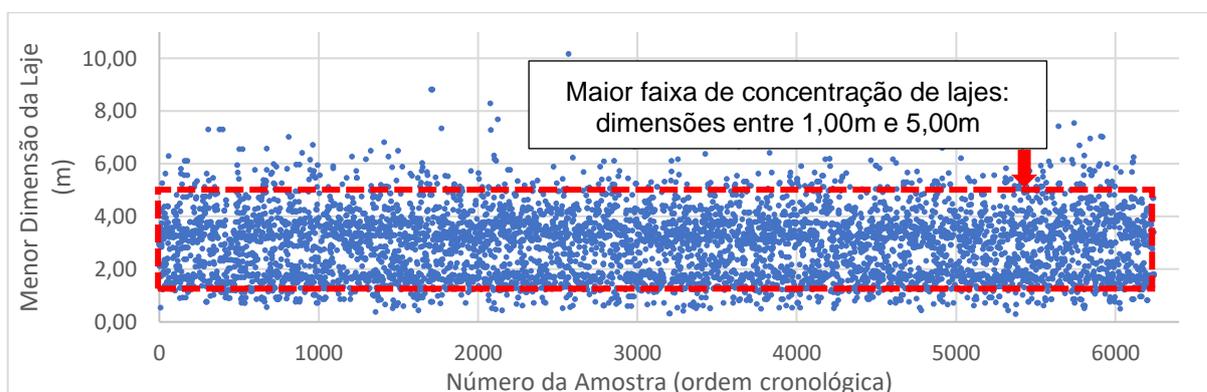
Ainda em relação à largura dos painéis, os entrevistados sugeriram uma largura padrão de 1,20 m para os painéis, para facilitar a produção e o transporte. Relataram que sua fábrica possui uma produção diária de 300 m² e se adaptaria sem problemas a um tipo de produção puxada, ou seja, produção de painéis somente após a solicitação do cliente. Em relação à montagem das lajes, os entrevistados sugeriram a utilização de um caminhão tipo *Munk* para o içamento destas, por se tratar de um equipamento de fácil contratação, porém,

alertaram para os limites de alcance da lança. Este tipo de equipamento se adequaria melhor a obras térreas, pois, para uma altura de 3,00 m, seria capaz de içar painéis a uma distância horizontal de até 12,00 m.

Em relação à montagem dos painéis de laje, se alertou sobre o cuidado no nivelamento das canaletas de respaldo, pois, em caso de estarem desniveladas acarretaria problemas na montagem dos painéis.

Em relação aos tempos de desforma e transporte, os entrevistados relataram que em sua fábrica, as peças são desformadas após 24 horas de moldagem; já o transporte é realizado somente após 72 horas. Por fim, foi fornecida uma lista de 6245 lajes orçadas pela empresa nos últimos 5 anos, contendo largura e comprimento; data de venda, número da laje, menor dimensão e maior dimensão. Os dados foram agrupados em uma tabela e numerados em ordem cronológica. Foi escolhida como a principal variável a ser analisada a “menor dimensão”, por se tratar dos comprimentos dos painéis de laje fabricados pela empresa, resultando na dispersão das amostras (Figura 21) e que os valores possuíam, majoritariamente, dimensões entre 1,00 e 5,00 m, porém, com uma grande variação dimensional.

Figura 21 - Amostras de lajes orçadas de 2015 a 2021



Fonte: Autor.

Para melhor análise dos padrões de dimensão dos painéis, se elaborou um histograma (Figura 22) em que os dados foram agrupados em faixas de 5 cm, por se tratar de uma variação de dimensão aceitável para este tipo de painel. Também foram agrupados os valores menores que 1,00 m e maiores que 5,00 m, por não possuírem uma quantidade pequena de amostras e uma grande variação dimensional, podendo ser consideradas dimensões “especiais”, de difícil padronização.

garantir o esquadro e as dimensões dos painéis. As pequenas imperfeições de esquadro e de dimensões que ocorriam eram compensadas pela “folga” existente entre as placas, localizada nas juntas das paredes. Em relação a montagem das placas, relatou que era comum se observar desníveis nas canaletas de respaldo, necessitando de correções manuais simultaneamente ao içamento.

Quando questionado sobre a produção de painéis padronizados em fábricas, o entrevistado apontou diversas vantagens, como uma maior facilidade de se fabricar o nicho, tendo em vista que as lajes poderiam ser produzidas individualmente, ao invés de empilhadas. Segundo o entrevistado, essa produção individual também dispensaria a necessidade de se realizar o deslocamento.

Também apontou a importância do nivelamento dos painéis padronizados. Neste caso, este procedimento poderia ser executado por meio de um torniquete, similar ao processo realizado com as lajes alveolares. Por fim, foi ressaltada a importância do fator aprendizado, pois, no caso da produção em fábrica, o mesmo operário poderia fazer a mesma tarefa várias vezes, tornando o trabalho mais rápido e com menor ocorrência de falhas.

Já em relação ao processo de montagem de painéis padronizados, foi relatado que os caminhões do tipo *Munk* seriam adequados para realizar o içamento de edificações até o 2º pavimento, desde que o equipamento pudesse ser posicionado em suas proximidades. Para o caso da moldagem *in loco*, foi apontada a importância do posicionamento das pistas de concretagem dos painéis, que, preferencialmente, deveriam ser posicionadas próximas da edificação, para não haver a necessidade de um outro transporte horizontal antes do içamento.

Por fim, quando questionado sobre a possibilidade de se transportar os painéis padronizados em pé, em caminhões, o entrevistado descartou a possibilidade, tendo em vista as dificuldades de se reposicionar os painéis horizontalmente na obra.

Em suma, as principais informações obtidas na entrevista foram referentes a montagem e produção das LMPM, sendo as principais contribuições da entrevista apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Informações da entrevista com o gestor de obras

Nivelamento do pátio de concretagem
Uso de lonas para a separação dos painéis
Forma que garanta o esquadro
Nivelamento adequado das canaletas de respaldo
Tempo necessário para desforma das peças: 24 h
Tempo necessário para transporte das peças: 7 dias

Fonte: Autor.

4.2 FASE B - DESENVOLVIMENTO: ADEQUAÇÕES PARA LMPM PADRONIZADAS

Se analisou o projeto de lajes de uma obra a ser executada em uma cidade no interior do estado de São Paulo em que, inicialmente, pretendia-se utilizar o sistema de LMPM.

A construtora responsável pelo projeto e execução atua em uma cidade de médio porte há mais de vinte anos, tendo como foco principal a construção de edificações multifamiliares de até seis pavimentos. Usualmente, a empresa utiliza o sistema de alvenaria estrutural e lajes maciças concretadas *in loco*.

O projeto analisado neste trabalho trata-se de um edifício multifamiliar de 3 pavimentos e 6 apartamentos, projetado em alvenaria estrutural apoiada sobre radier rígido e lajes LMPM com dimensões de acordo com as de cada ambiente. Vale ressaltar que esta é a primeira utilização das LMPM pela empresa. O edifício foi projetado em um terreno de 10,00 x 29,70 m com frente única para a via pública na face de 10 m.

A construtora forneceu o projeto de paginação das lajes, denominado “projeto original”, em que havia as informações da disposição dos painéis de laje na edificação, e das instalações neles embutidas.

Sobre as instalações, havia informações de locação dos pontos de luz e pontos de “descidas” e “subidas” dos eletrodutos, para tomadas e interruptores. O projeto informava os pontos laterais de içamento e a disposição das formas e estoque de painéis de lajes no canteiro de obras, conforme Figura 23 e Figura 24.

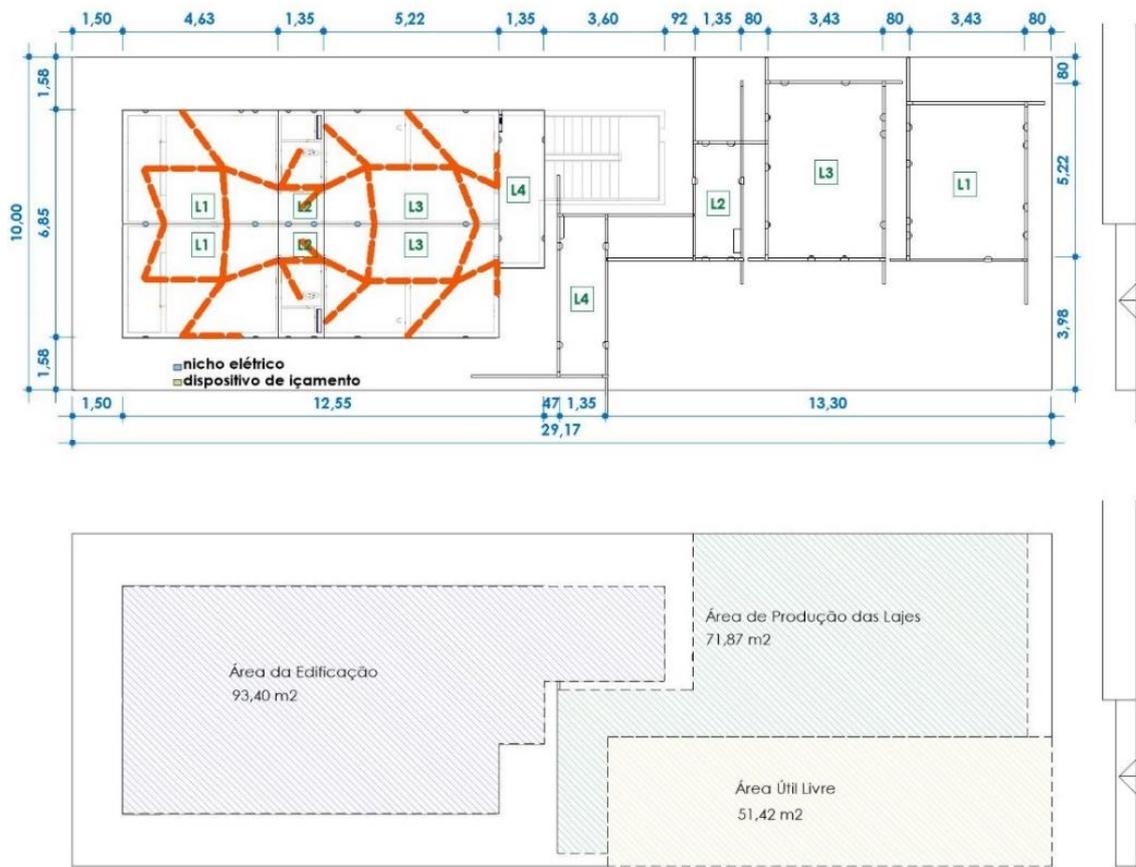
A construtora optou por desenvolver as formas com uma certa flexibilidade de alteração, para que pudessem ser aproveitadas em todos os tipos de laje. Para isso, os perfis de contenção lateral possuíam 6,00m de comprimento, dimensão que atendia até o maior painel de laje, e os nichos elétricos e de pino de içamento eram removíveis e fixados por encaixe, para que pudessem ter a disposição alterada. No projeto se observou que as pilhas de painéis de LMPM iriam ocupar a maior parte do canteiro de obras, prejudicando não só o trânsito de operários, mas também limitando os estoques de blocos, areia, cimento, pedra, aço, etc.

Figura 23 - Perspectiva 3D da locação das pilhas de painéis de LMPM no canteiro de obras



Fonte: Autor.

Figura 24 - Planta baixa da paginação dos painéis de LMPM e locação das formas no canteiro de obras



Fonte: Autor.

Diante do exposto foi apresentada uma alternativa para o projeto, denominado “projeto modificado”, em que foram propostos painéis de LMPM de largura padronizada, conforme Figura 25 e Figura 26. Para a elaboração da nova paginação, o pavimento-tipo foi dividido em três áreas: apartamento 1, apartamento 2 e Hall. Nas áreas relativas aos apartamentos 1 e 2, que apresentavam o mesmo valor, realizou-se sua divisão em dez painéis (5 para cada área do apartamento) de largura de 2,22 metros ao longo da sua maior dimensão.

Os dez painéis puderam ser agrupados em cinco tipos, pois alguns deles possuíam exatamente as mesmas dimensões e disposição das instalações. Foram realizadas algumas adaptações nas posições de “subidas” e “descidas” de eletrodutos, para que ficassem iguais a de outro painel, permitindo a padronização.

Essas alterações foram compatibilizadas com o projeto de alvenaria, considerando a concepção de novos caminhos para os eletrodutos que sofreram alterações e para que estes pudessem ser conectados às mesmas tomadas e interruptores do projeto original. Apesar das adaptações que se fizeram necessárias, o novo sistema permitiu uma redução considerável de espaço utilizado pelos estoques de painéis de LMPM no canteiro de obras.

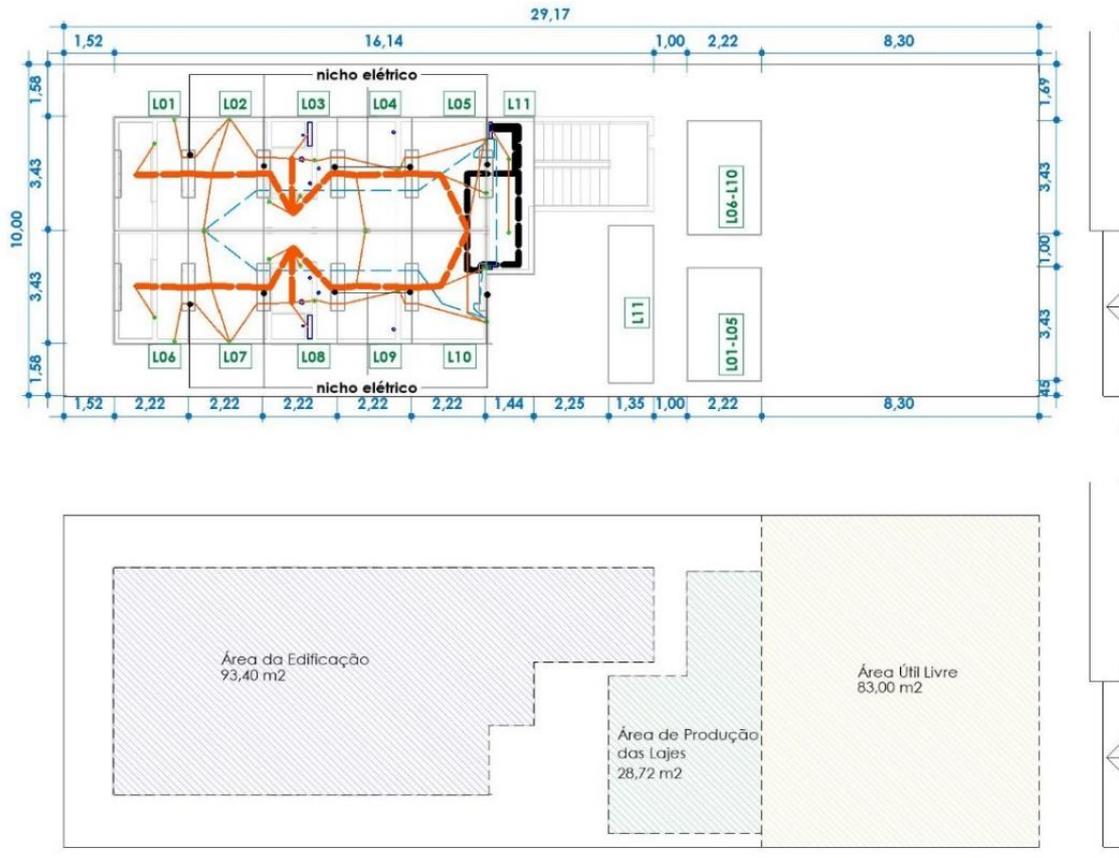
A área do Hall foi composta por um único painel, de dimensões diferentes dos demais. O detalhamento de cada painel (Ln), em escala maior do que a apresentada na Figura 26, é apresentado nas Figuras 27 a 33. Nestas figuras podem ser observados os traçados dos eletrodutos (conduítes), a locação dos pontos de luz e furação hidráulica, bem como o quantitativo de materiais e componentes.

Figura 25 - Perspectiva 3D da locação das pilhas de painéis de LMPM no canteiro de obras

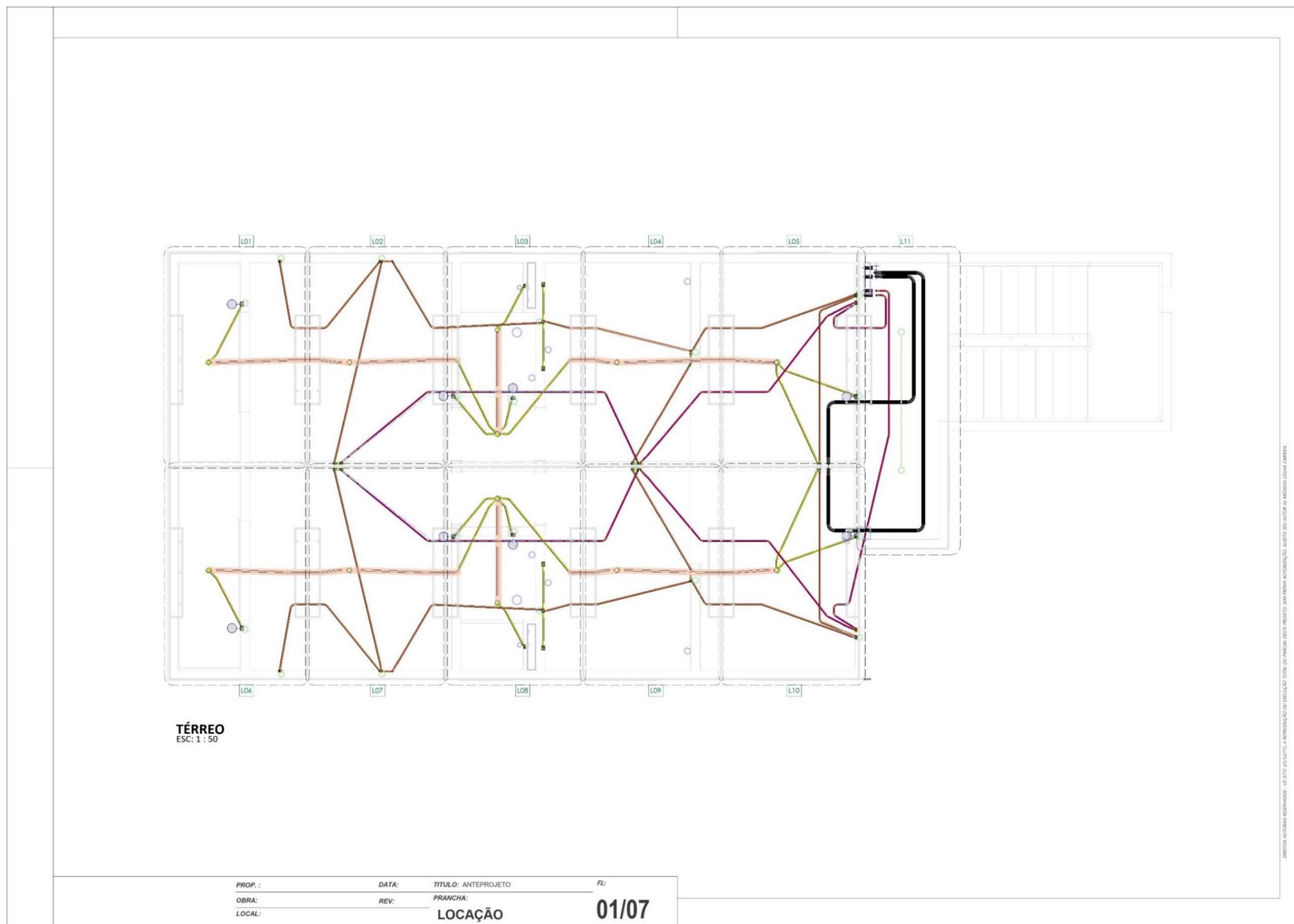


Fonte: Autor.

Figura 26 - Planta baixa da paginação das lajes e locação das formas no canteiro de obras, após a padronização dos painéis



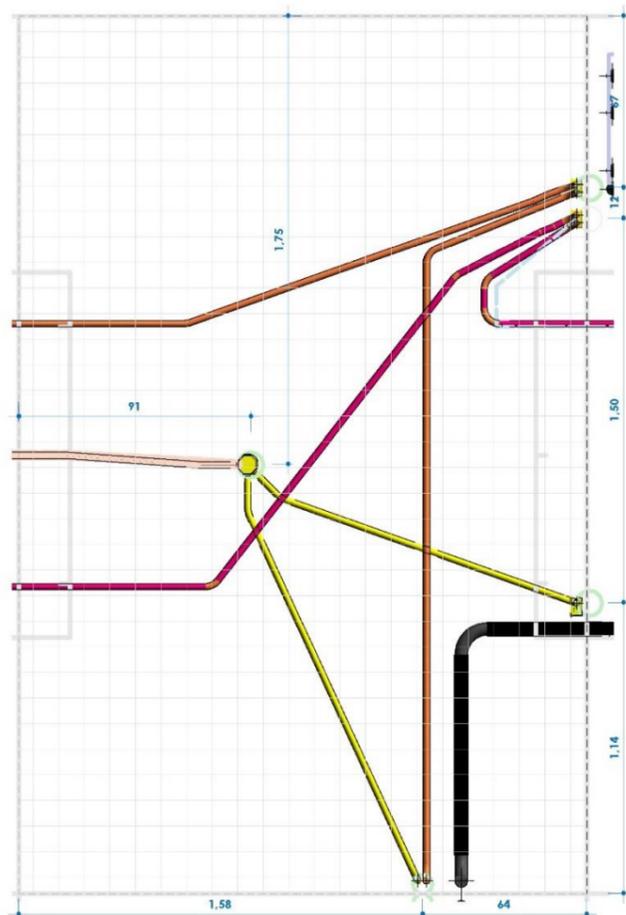
Fonte: Autor.

Figura 27 - Prancha de Locação¹

Fonte: Autor.

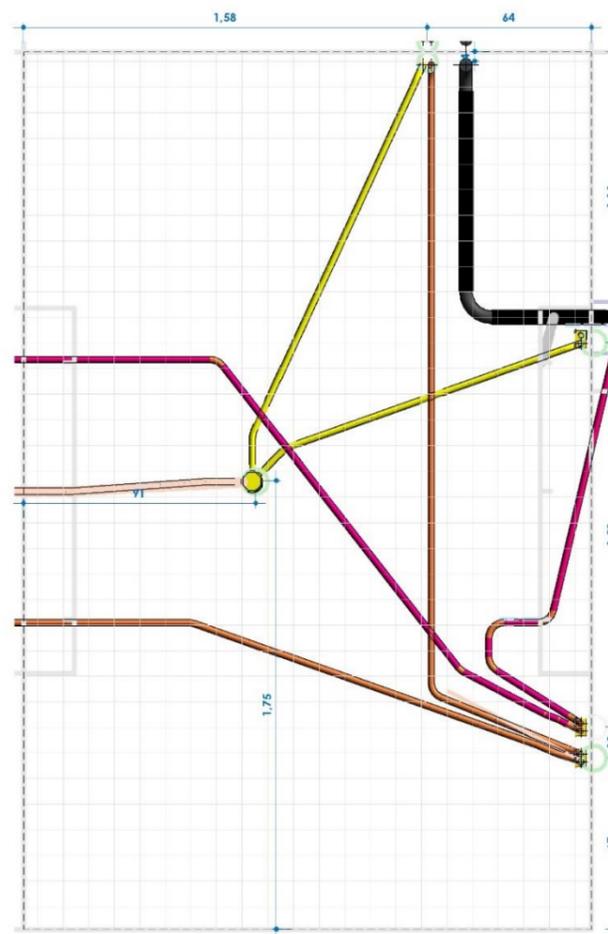
¹ A representação das pranchas no formato A3 foram apresentadas com uma redução proporcional das dimensões da folha para serem apresentadas com os devidos títulos e referências. As escalas indicadas nas respectivas pranchas são as apresentadas nas pranchas originais, não sendo possível conferir as medidas em escala neste documento.

Figura 28 - Projeto painéis L5 e L10



L5
ESC: 1 : 20

ESPAÇADOR CADEIRINHA	35 und
CONCRETO	0,68 m3
AÇO - GANCHO	04 und
AÇO - MALHA Ø6,3 c/10 2,45x6,00	0,5 und
AÇO - VERGALHÃO	0,5 barra
CONDUITE 25mm	10,90 m
CONDUITE 32mm	2,70 m
CAIXA DE LUZ (TETO)	01 und
TUBO PVC 150mmX9cm	00 und
TUBO PVC 100mmX9cm	03 und
TUBO PVC 75mmX9cm	01 und
ISOPOR 10X10X5CM	04 und
CONDUITE 50mm	0,80 m



L10
ESC: 1 : 20

ESPAÇADOR CADEIRINHA	35 und
CONCRETO	0,68 m3
AÇO - GANCHO	04 und
AÇO - MALHA Ø6,3 c/10 2,45x6,00	0,5 und
AÇO - VERGALHÃO	0,5 barra
CONDUITE 25mm	10,90 m
CONDUITE 32mm	2,70 m
CAIXA DE LUZ (TETO)	01 und
TUBO PVC 150mmX9cm	00 und
TUBO PVC 100mmX9cm	03 und
TUBO PVC 75mmX9cm	01 und
ISOPOR 10X10X5CM	04 und
CONDUITE 50mm	0,80 m

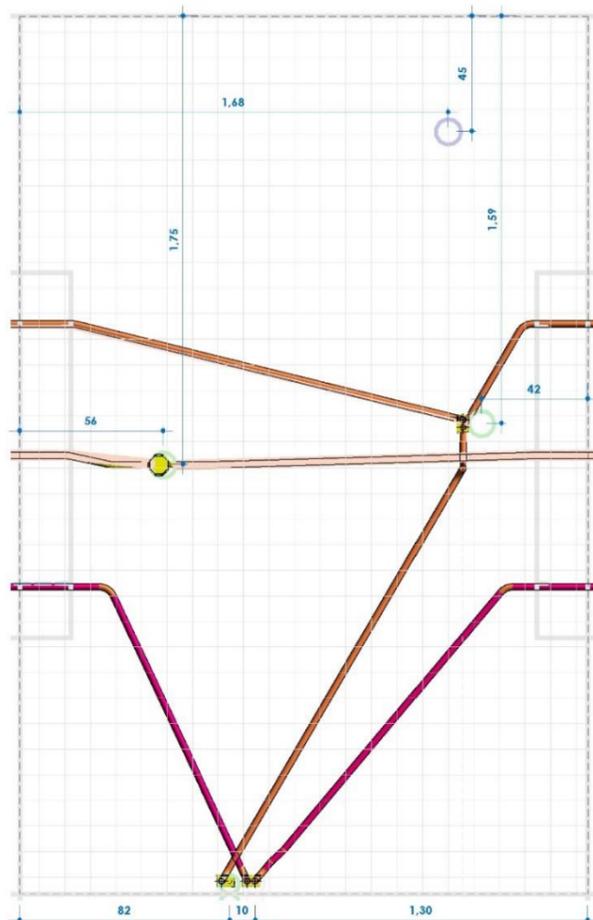
	PONTO DE LUZ
	FURAÇÃO PARA HIDRÁULICA
	CONDUITE 32mm
	CONDUITE 25mm

PROP.: _____ DATA: _____ TÍTULO: ANTEPROJETO FL: _____
 OBRA: _____ REV: _____ PRANCHA: _____
 LOCAL: _____ LAJE L5 e L10 02/07

Fonte: Autor.

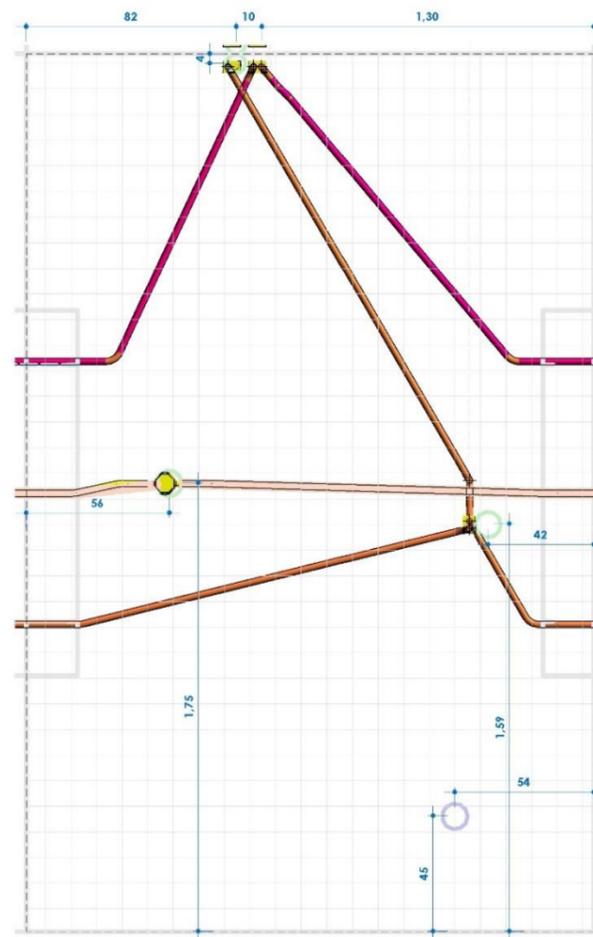
DIRETOR AUTOMAS RESERVADOS - 165 5772 0217/1711 - A REPRODUÇÃO OU FURÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE PROJETO, SEM PERMIA AUTORIZADA, SUJEITA AO AUTOR AS MEDIDAS LEGAIS CABIVELIS.

Figura 29 - Projeto painéis L4 e L9



L4
ESC: 1 : 20

ESPAÇADOR CADEIRINHA	35 und
CONCRETO	0,68 m3
AÇO - GANCHO	04 und
AÇO - MALHA Ø6,3 c/10 2,45x6,00	0,5 und
AÇO - VERGALHÃO	0,5 barra
CONDUITE 25mm	8,00 m
CONDUITE 32mm	2,20 m
CAIXA DE LUZ (TETO)	01 und
TUBO PVC 150mmX9cm	00 und
TUBO PVC 100mmX9cm	02 und
TUBO PVC 75mmX9cm	02 und
ISOPOR 10X10X5CM	04 und



L9
ESC: 1 : 20

ESPAÇADOR CADEIRINHA	35 und
CONCRETO	0,68 m3
AÇO - GANCHO	04 und
AÇO - MALHA Ø6,3 c/10 2,45x6,00	0,5 und
AÇO - VERGALHÃO	0,5 barra
CONDUITE 25mm	8,00 m
CONDUITE 32mm	2,20 m
CAIXA DE LUZ (TETO)	01 und
TUBO PVC 150mmX9cm	00 und
TUBO PVC 100mmX9cm	02 und
TUBO PVC 75mmX9cm	02 und
ISOPOR 10X10X5CM	04 und

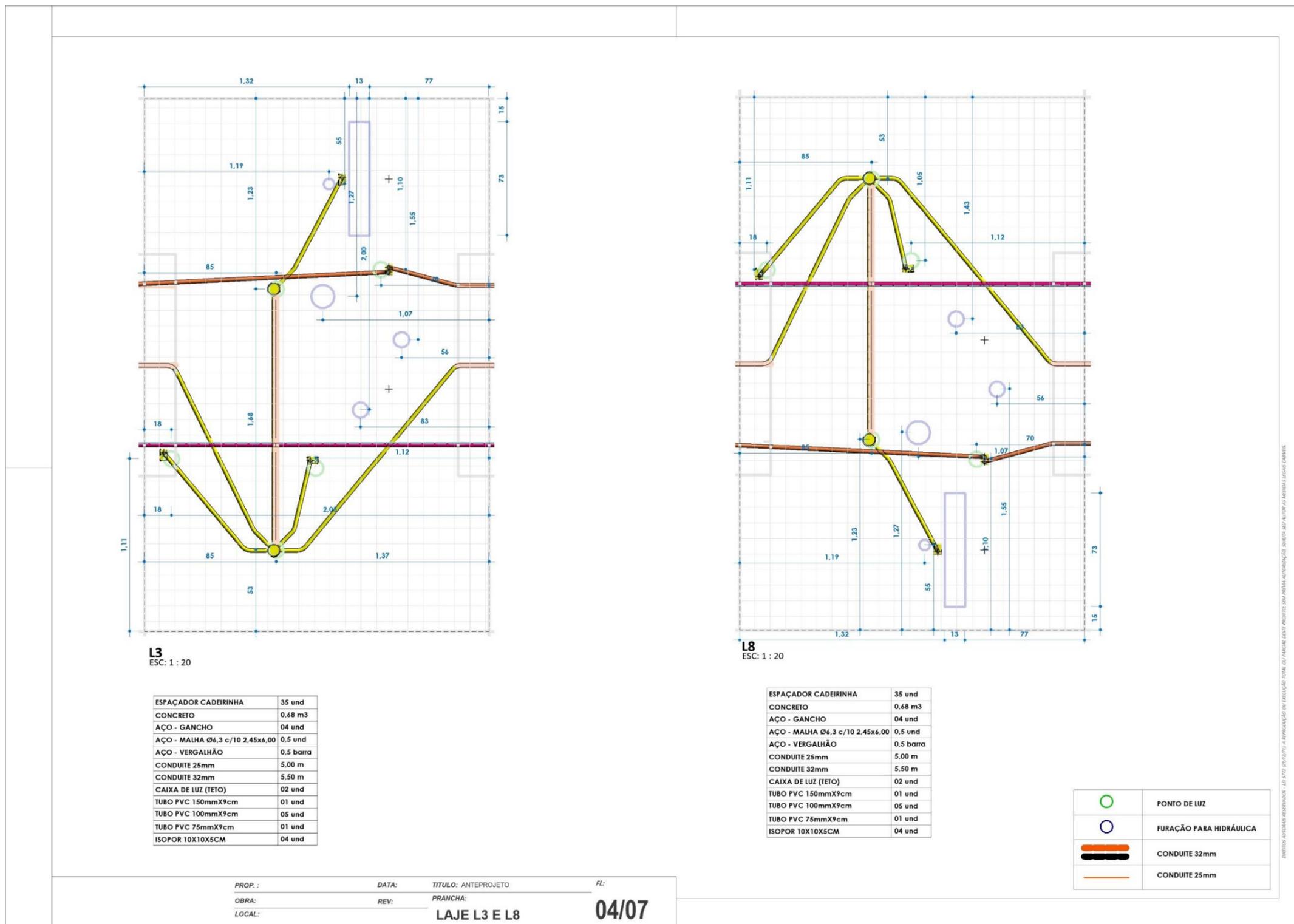
	PONTO DE LUZ
	FURAÇÃO PARA HIDRÁULICA
	CONDUITE 32mm
	CONDUITE 25mm

PROP.: _____ DATA: _____ TÍTULO: ANTEPROJETO FL: _____
 OBRA: _____ REV: _____ PRANCHA: _____
 LOCAL: _____ LAJE L4 E L9 03/07

Fonte: Autor.

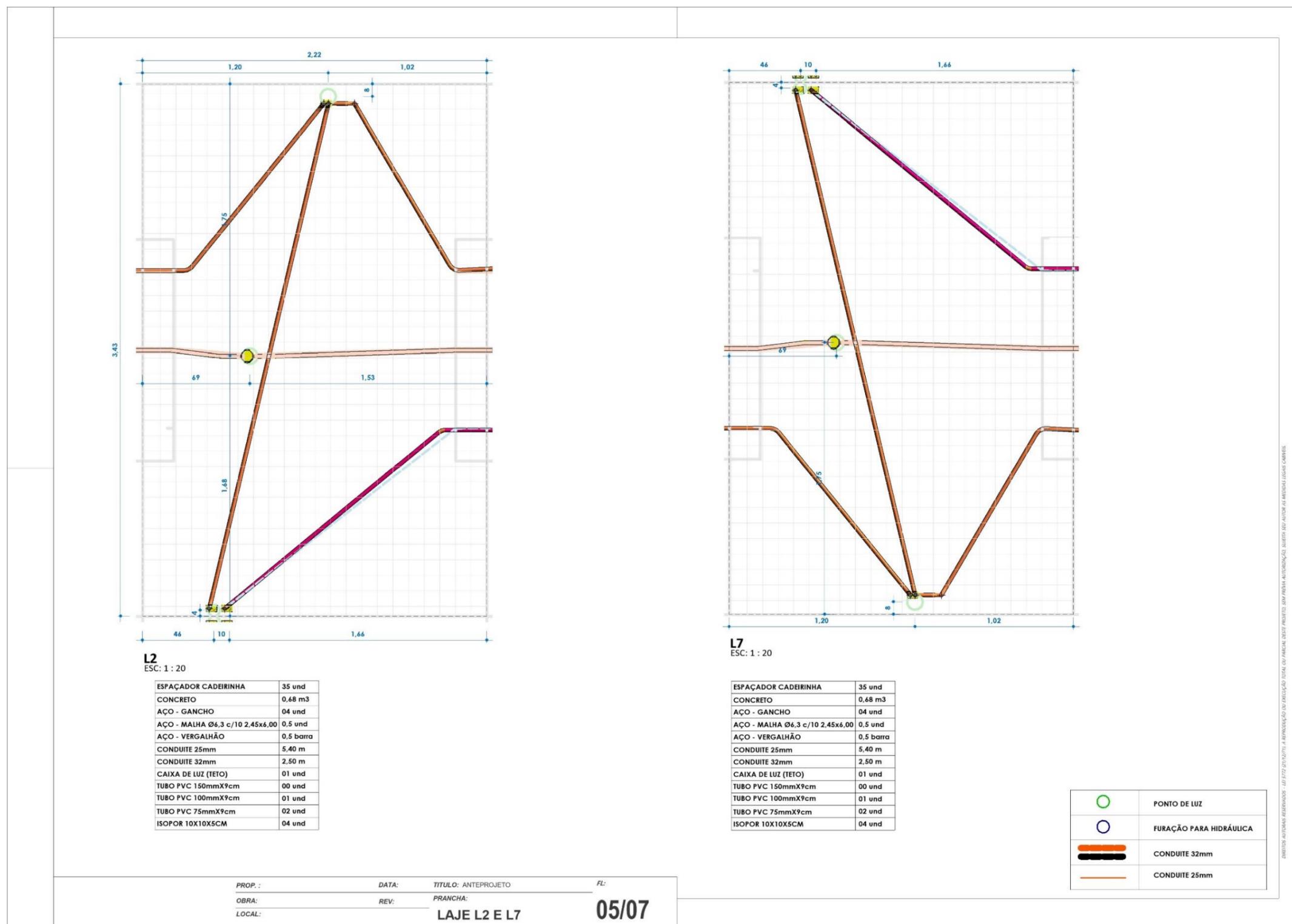
DIRETOS AUTORES RESERVADOS - 165 8772 0717/1711 - A REPRODUÇÃO OU FALSIIFICAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE PROJETO, SEM PERMITS AUTORIZADAS, SUJEITA SEU AUTOR AS PENALIDADES LEGAIS CABÍVEIS.

Figura 30 - Projeto painéis L3 e L8



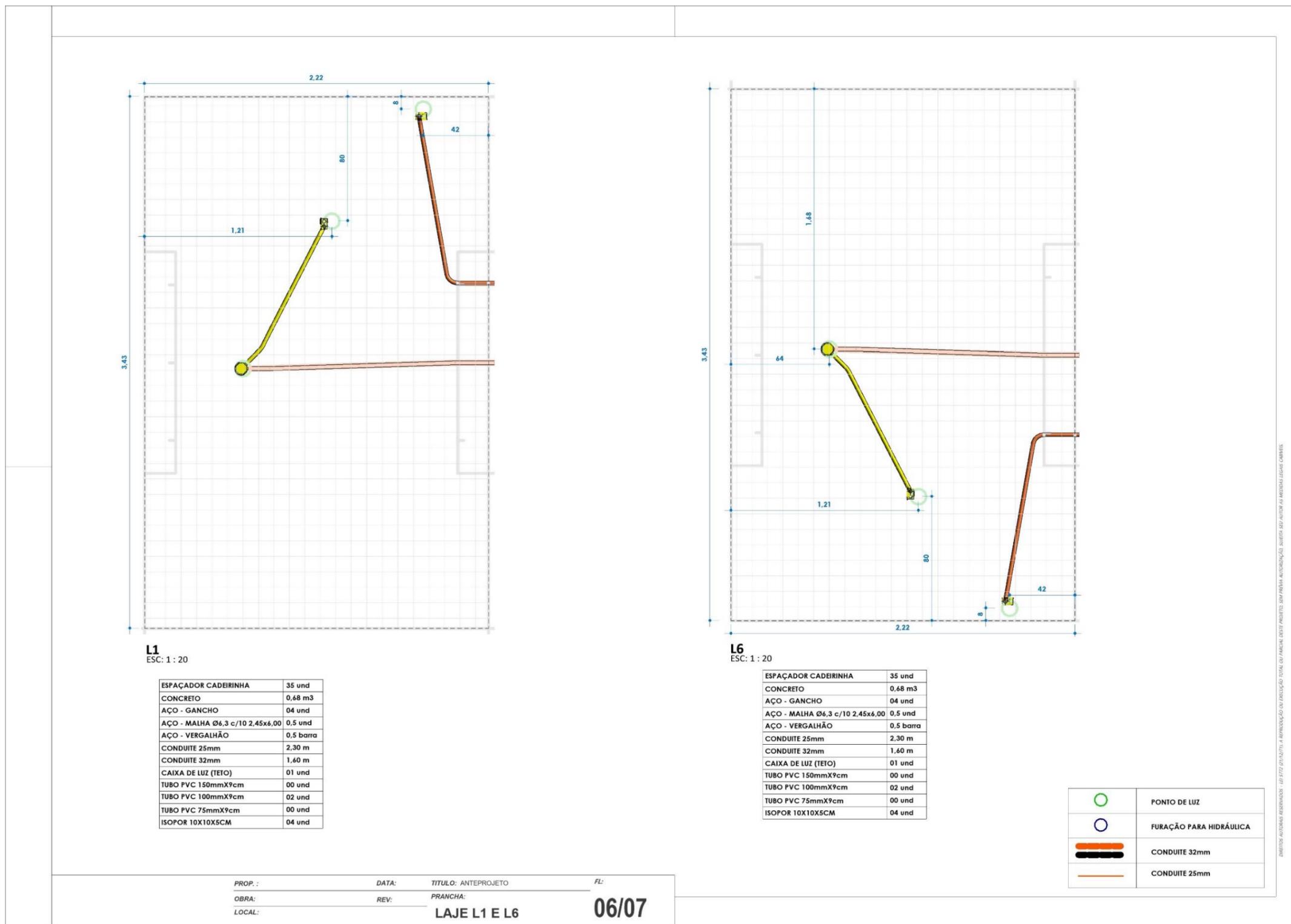
Fonte: Autor.

Figura 31 - Projeto painéis L2 e L7



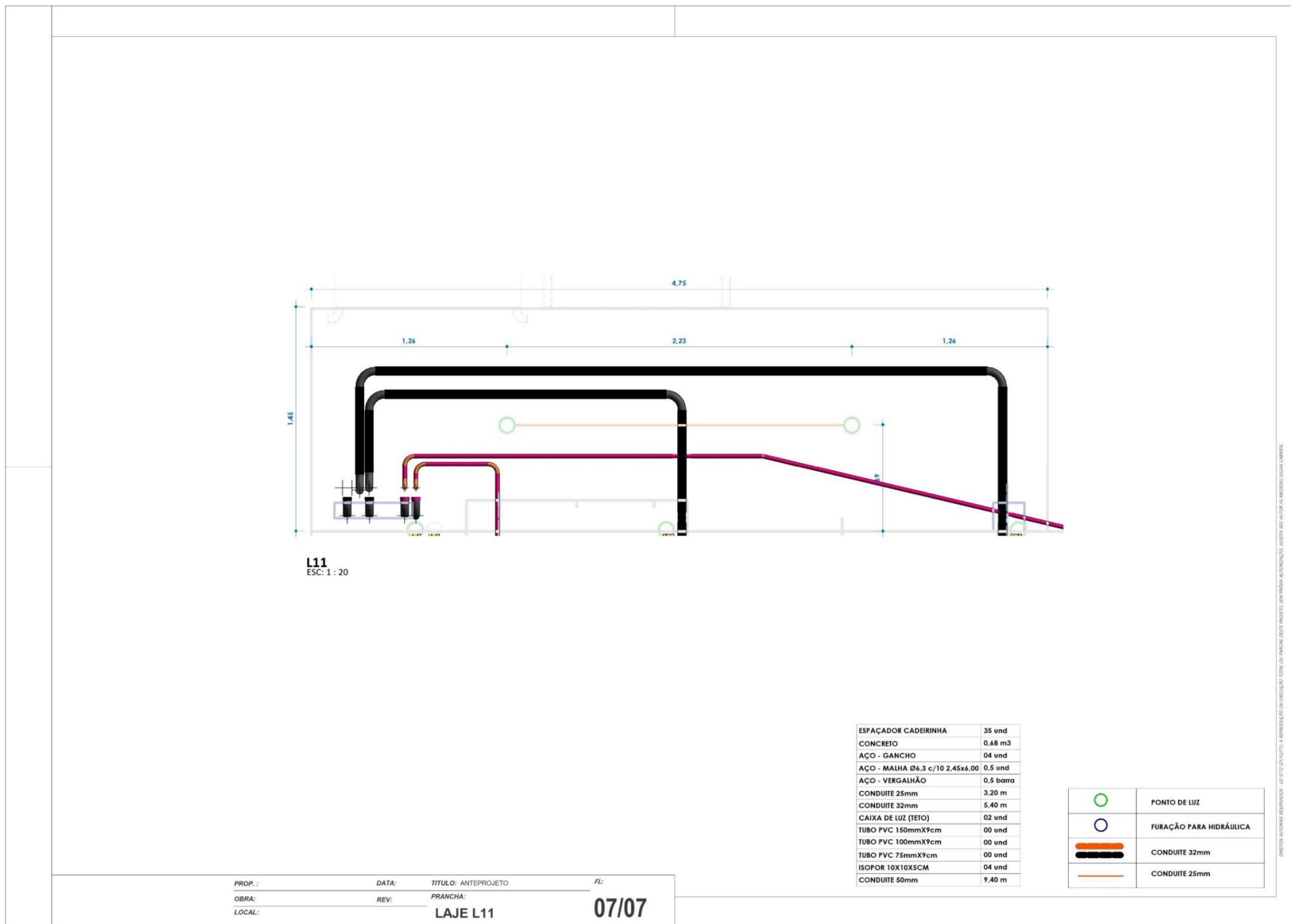
Fonte: Autor.

Figura 32 - Projeto painéis L1 e L6



Fonte: Autor.

Figura 33 - Projeto painel L11



Fonte: Autor.

Nesta nova concepção, pode-se observar uma redução da área demandada para a produção das LMPM no canteiro (comparação entre as Figuras 24 e 26). No “projeto original”, com as LMPM nas dimensões dos ambientes, era demandada uma Área de Produção das Lajes (APL) de 71,87 m², restando 51,42 m² de Área Útil Livre (AUL) no canteiro de obras, enquanto no projeto modificado, com as LMPM em painéis de largura fixa (padronizada), foram demandados 28,72 m² de APL, restando 83,00 m² de AUL no canteiro de obras, havendo uma redução de 60,03 % na APL entre os dois projetos. No Quadro 7 apresenta-se um resumo comparativo entre as duas opções de projetos.

Quadro 7 - Comparação entre as duas opções de projeto

Quesitos	Projeto original	Projeto modificado
Concepção	LMPM com dimensões de cada ambiente	LMPM com painéis padronizados
Número de painéis por pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • 2 painéis do Tipo A • 2 painéis do Tipo B • 2 painéis do Tipo C • 1 painel do Tipo D 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 painéis do Tipo A • 1 painel do Tipo B
Número total de painéis (para os 3 pavimentos)	<ul style="list-style-type: none"> • 6 painéis do Tipo A • 6 painéis do Tipo B • 6 painéis do Tipo C • 6 painéis do Tipo D 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 painéis do Tipo A • 3 painéis do Tipo B
Dimensões dos painéis	<ul style="list-style-type: none"> • Painel tipo A: 4,63 x 3,43 m • Painel tipo B: 1,35 x 3,43 m • Painel tipo C: 5,22 x 3,43 m • Painel tipo D: 1,45 x 4,75 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Painel tipo A: 2,22 x 3,43 m • Painel tipo B: 1,45 x 4,75 m
Área para produção dos painéis das lajes (m ²)	71,87	28,72
Área útil livre no canteiro de obras (m ²)	51,42	83,00

Fonte: Autor.

4.3 FASE B - CICLOS DE APRENDIZAGEM

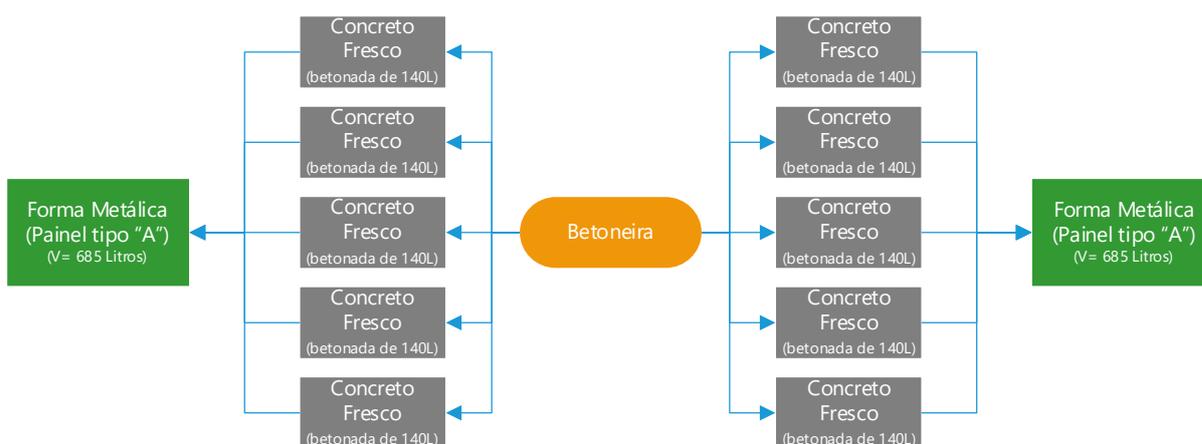
Foi acompanhada a concretagem das LMPM de largura padronizada de três pavimentos, sendo que cada pavimento possuía 10 painéis de laje medindo 2,22 x 3,43 m (Tipo A) e 1 painel de laje medindo 1,45 x 4,75 m (Tipo B), totalizando 33 painéis distribuídos em três pilhas. O processo de produção era dividido em três etapas:

- c) Montagem das formas;
- d) Colocação das armaduras e eletrodutos;
- e) Concretagem, cura e desforma.

Para a concretagem dos painéis se utilizou concreto produzido *in loco*, devido aos pequenos volumes demandados diariamente. Como havia apenas três jogos de formas (dois jogos do Tipo “A” e um jogo do Tipo “B”), eram concretados, no máximo, três painéis a cada dia, ou a cada dois dias, dependendo da produção dos trabalhadores. Assim, por pavimento,

eram realizadas cinco concretagens, sendo quatro delas de dois painéis do Tipo A, e a última delas com dois painéis do Tipo A e um painel do Tipo B. Para a produção de concreto *in loco* se utilizou Cimento ARI, que possibilitava um prazo menor de cura para o içamento. Para cada painel de forma do Tipo A foram utilizados, aproximadamente, 685 litros de concreto e a produção de um traço por betonada resultava em 140 litros de concreto, demandando a produção de 10 betonadas para a concretagem de painéis do Tipo A, considerando o uso de duas formas, conforme ilustrado na Figura 34.

Figura 34 - Fluxograma dos processos de concretagem



Fonte: Autor.

Para o controle tecnológico do concreto, adotou-se o tipo de amostragem parcial, previsto na Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015) e os procedimentos de coleta da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994). Nas concretagens era adotado o traço de 1 : 1,80 : 1,08 : 0,54 (cimento : areia : brita : água/cimento), com estimativa de resistência de 25 MPa, considerando-se a medida de cimento em quilos e os demais materiais em litros.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão, coletou-se uma amostra de cada betonada. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015) estabelece uma quantidade mínima de seis amostras para concretagens de volume inferior a 10 m³ e concreto com *fck* inferior a 50 MPa; porém, para se adotar um controle por amostragem total, optou-se por coletar uma amostra para cada betonada.

Em relação ao ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015), este foi realizado na primeira betonada, por se tratar de uma concretagem ininterrupta e produzida *in loco*.

Nos ensaios de resistência à compressão (Figura 35), metade dos corpos de prova foram rompidos aos 7 dias e os demais aos 28 dias, obtendo-se a resistência à compressão do concreto próximo à data do içamento dos painéis e ao final da cura. Nesse ensaio, obteve-se a resistência média de 22,18 MPa com 7 dias e 24,65 MPa com 28 dias. Apesar de a

resistência final estar abaixo do previsto, foi considerada suficiente para o requisitado no projeto estrutural da obra.

Em relação ao ensaio de abatimento do tronco de cone, obteve-se o resultado médio de 19 cm \pm 1. Nesse caso, não se tinha requisitos mínimos de projeto; tratava-se somente de uma necessidade executiva, tendo em vista que o concreto precisava ser fluído o suficiente para preencher a parte inferior do nicho. Na Figura 35 são ilustrados os ensaios de resistência à compressão e abatimento de tronco de cone.

Figura 35 - Ensaio de resistência à compressão e abatimento do tronco de cone



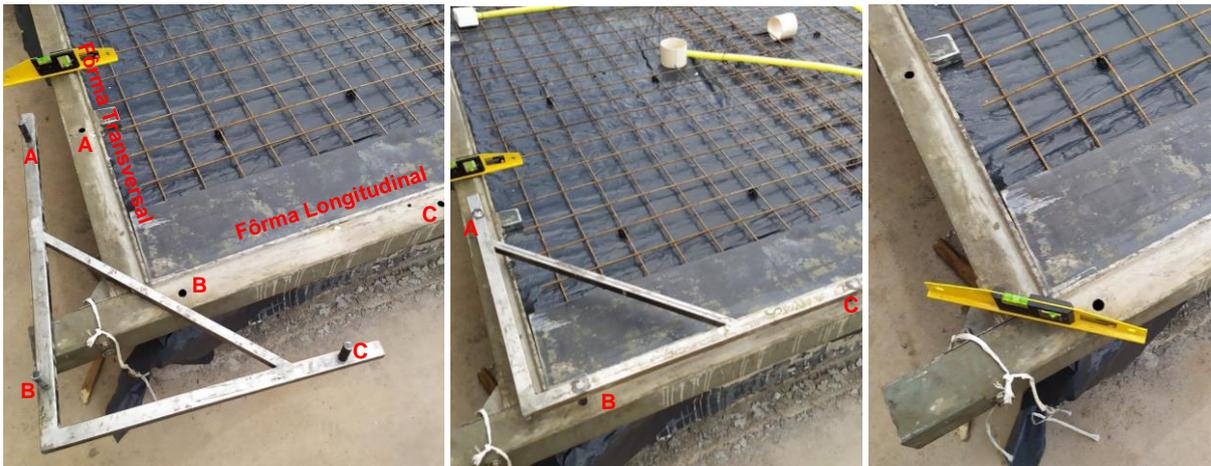
Fonte: Autor.

4.3.1 PRIMEIRO CICLO DE APRENDIZAGEM: CICLO I – 1º PAVIMENTO

4.3.1.1 Produção dos Painéis de LMPM do 1º Pavimento

Primeiramente, foi realizado o processo de Montagem das Formas, em que eram conferidos os esquadros e fixados os dois tipos de formas: Forma Transversal (FT) e Forma Longitudinal (FL). Em seguida, era realizada a fixação das outras duas formas, tendo como referência o esquadro das peças já fixadas. Por fim, eram realizados pequenos ajustes de altura nos cantos das formas para garantir o nivelamento, conforme ilustrado na Figura 36.

Figura 36 - Esquadro e nivelamento da forma dos painéis de LMPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

No processo de Colocação das Armaduras e Eletrodutos, foi aplicado desmoldante na base de concreto, colocados os espaçadores tipo “cadeirinha” e a malha de aço inferior. Posteriormente, foram colocadas as caixas de luz e interligados os eletrodutos. Nos pontos de “subida” dos eletrodutos (PSE), onde saem da laje e sobem para a alvenaria, foram utilizados tubos de PVC cortados para limitar o concreto. Já nos pontos de “descidas” dos eletrodutos (PDE), onde saem da laje e descem para a alvenaria, foram utilizados cubos de EPS nas pontas, alinhados com a face superior da forma. Em relação aos tubos de PVC, após a concretagem, as pontas dos eletrodutos ficavam expostas para posterior interligação com a alvenaria e, para a concretagem do painel de laje superior na pilha, os “vazios” do tubo de PVC eram preenchidos com areia. Já em relação aos cubos de EPS este procedimento não era necessário para a concretagem do painel de laje superior, porém, esses eram removidos para expor as pontas dos eletrodutos e realizar a interligação com a alvenaria, conforme Figura 37.

Figura 37 - Colocação dos eletrodutos nos painéis de LMPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

No processo de Concretagem, foi lançado o concreto sobre a base, já isolada com desmoldante, e sarrafeado com a régua apoiada sobre as duas formas longitudinais, o que garante uma maior confiabilidade do nivelamento da peça. Simultaneamente, o concreto era vibrado, com um foco maior na parte inferior dos nichos, que eram regiões mais críticas em relação a entrada do concreto. Por fim, era realizado o alisamento da superfície com a desempenadeira de aço, conforme Figura 38.

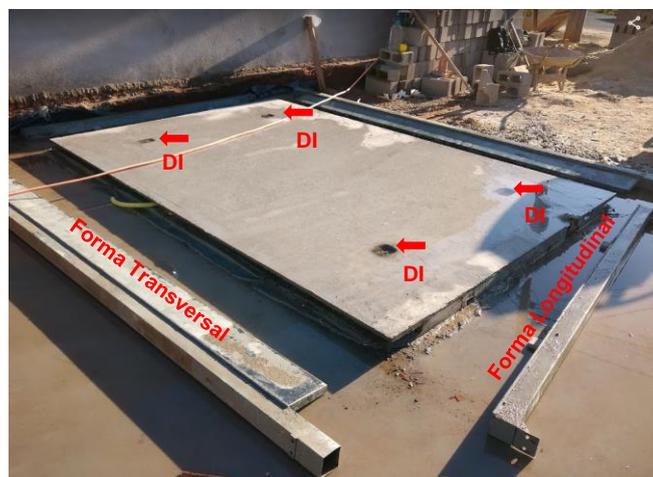
Figura 38 - Primeiro painel de LMPM produzido: 1º pavimento



Fonte: Autor.

No processo de desforma, eram desafixadas as quatro peças das formas e sacadas horizontalmente. Em alguns casos, em que foi necessário movimentar a forma verticalmente, notou-se pequenas quebras e fissuras em algumas regiões. Assim, eram regularizados os rebaixos de concreto nas regiões dos ganchos de ancoragem e preenchidos com areia para a concretagem do painel de laje superior, conforme Figura 39.

Figura 39 - Desforma do primeiro painel de LMPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Figura 40 - Montagem do último painel de LMPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Em suma, as principais informações obtidas durante o acompanhamento da produção dos painéis foram em relação ao sistema de formas. No Quadro 8 são apresentadas as principais contribuições em relação à produção dos painéis de LMPM.

Quadro 8 - Contribuições do acompanhamento da produção dos painéis de LMPM: 1º pavimento

Marcação dos cantos (numeração)
Introdução do esquadro externo de encaixe
Chapa do perfil 80 x 80 insuficiente (parafuso amassando)
Problema das caixas de teto abaixo do nicho

Fonte: Autor.

4.3.1.2 Montagem dos Painéis de LMPM: 1º Pavimento

Os painéis de LMPM foram posicionados em duas pilhas, com 5 painéis em cada. Na pilha da esquerda (Figura 41), estavam os painéis L01-L05 e na pilha da direita os painéis L06-L10. O painel L11 estava em um local separado, por possuir dimensões diferentes dos demais. Também houve diferença no procedimento de isolamento de superfícies na produção desses painéis, sendo utilizado desmoldante nos painéis L03-L05 e L08-L10, e lona plástica nos demais. A Figura 41 ilustra o posicionamento do guindaste e das duas pilhas de painéis de LMPM.

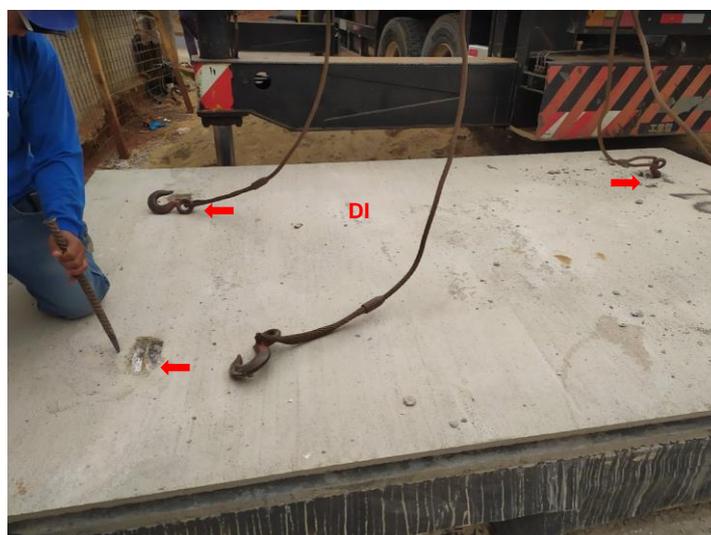
Figura 41 - Posição do guindaste e das pilhas de painéis de LPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Um ponto importante que se observou durante a montagem, foi a necessidade de se alargar o nicho dos dispositivos de içamento, pois o espaço não foi suficiente para se introduzir os ganchos do guindaste. Isso gerou um retrabalho durante a montagem, sendo necessário se aguardar a realização dessa “quebra” para se realizar os içamentos. Concluiu-se que foi necessário um espaço de 20 x 5 cm para a passagem do gancho. A Figura 42 ilustra a “quebra” manual das regiões de nicho dos dispositivos de içamento.

Figura 42 - Alargamento da região dos dispositivos de içamento dos painéis de LPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Em relação ao posicionamento dos painéis, como as emendas ocorriam muitas vezes no meio dos ambientes, foram realizadas marcações nas paredes com as medidas onde deveriam ocorrer essas emendas. Assim, era possível se ter uma referência durante o posicionamento com o guindaste. Durante este processo, não foram observadas falhas ou imprecisões expressivas de dimensões, esquadro ou desnível entre os painéis. A Figura 43 ilustra as marcações de referência realizadas nas paredes.

Figura 43 - Referências para a montagem dos painéis de LMPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Um dos pontos mais críticos observados durante o processo de montagem, foi o deslocamento dos painéis. O guindaste utilizado possuía um medidor de carga na ponta da lança de içamento, sendo possível analisar o esforço realizado para o içamento de cada painel. Os painéis possuíam, aproximadamente, 1500 kg cada, porém, durante o deslocamento, algumas peças necessitavam um esforço de mais de 3000 kgf para realizar este procedimento. Esse “excesso” de esforço para o deslocamento ocorreu somente nas peças em que se utilizou desmoldante para isolar as superfícies, enquanto nos painéis que foram utilizadas lonas plásticas isso não ocorreu. A Figura 44 ilustra o deslocamento de painéis de LMPM isolados com lonas plásticas.

Figura 44 - Içamento do painel de LMPM e remoção das lonas plásticas utilizada no isolamento das superfícies: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Além disso, ocorreu um incidente, durante o deslocamento da L05, sendo o último painel de laje da pilha da esquerda, “aderido” diretamente ao piso. No deslocamento deste painel, o guindaste chegou a exercer esforços superiores a 4.500 kgf, pois a peça aderiu ao piso e veio a se romper durante algumas manobra e tentativas de deslocamento. Após a remoção da peça, percebeu-se que algumas regiões aderiram ao piso, possivelmente por falhas na aplicação do desmoldante, ou excesso de rugosidade do piso. A Figura 45 ilustra o deslocamento da L05.

Figura 45 - Quebra do painel durante o deslocamento da L05: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Outro ponto observado diz respeito às irregularidades de superfície na região dos ganchos. Essas regiões ficavam sobre os vazios dos ganchos das lajes inferiores, que eram preenchidos com areia para evitar que o concreto aderisse aos ganchos ou ocorressem essas irregularidades. Porém, notou-se que elas ocorreram em alguns pontos, provavelmente por falhas no preenchimento de areia, conforme ilustra a Figura 46.

Figura 46 - Acabamento de superfície nas regiões de gancho das LMPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Os acabamentos de superfície inferior nas lajes também apresentaram diferentes acabamentos quando as lajes foram moldadas com lona ou desmoldante. A Figura 47 ilustra o acabamento inferior com o uso de lona (esquerda) e com o uso de desmoldante (direita). Neste caso, notou-se que parte do concreto do painel inferior aderiu a base de alguns painéis, ocasionando imperfeições tanto na base como no topo desses painéis.

Figura 47 - Os acabamentos de superfície inferior das LMPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Outra manifestação patológica observada diz respeito às irregularidades na porção inferior de concreto nos nichos dos painéis. Essas irregularidades foram notadas desde o processo de desforma, principalmente das L1, L2, L6 e L7. Essas imperfeições ocorreram devido a falhas na vibração do concreto, pois essas regiões não ficam visíveis durante a moldagem, tornando o problema perceptível somente após a retirada das formas (Figura 48).

Figura 48 - Falhas de vibração da LMPM: 1º pavimento

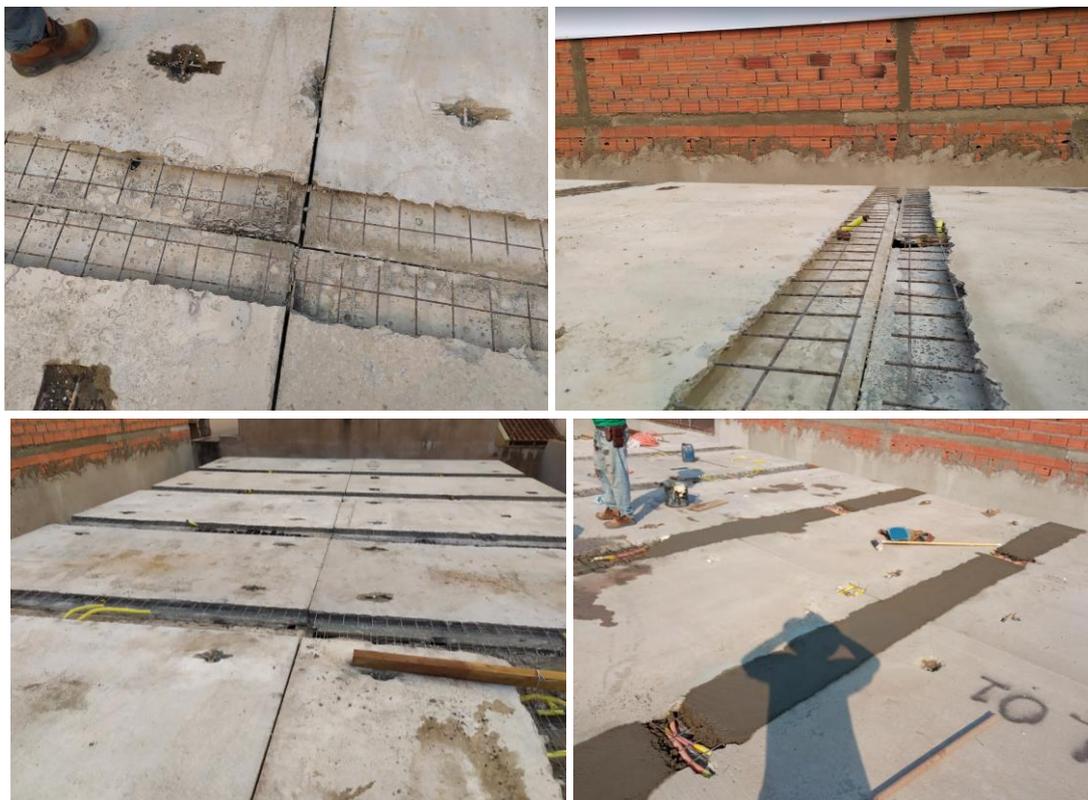


Fonte: Autor.

Já em relação a região de emendas dos painéis, não foram encontrados grandes problemas, não ocorreram problemas relevantes de falhas no esquadro ou nivelamento dos painéis. O processo de quebra da porção superior não demandou muito tempo, porém, os trabalhadores relataram dificuldades para remover os pedaços de concreto quebrados que caíam abaixo das malhas. Também foram relatados problemas na emenda de eletrodutos que eram introduzidos em peças de isopor e deveriam ser interligados no meio dos painéis. Nessa situação, os eletrodutos possuíam no máximo 10 cm de comprimento fora do concreto, e

muitas vezes se quebravam, necessitando de retrabalho para a correção. Os eletrodutos que eram interligados nas regiões dos nichos da forma não apresentaram esse problema, pois possuíam 20 cm de comprimento para fora do concreto. A Figura 49 ilustra as regiões de emenda dos painéis de laje.

Figura 49 - Os nichos de ligação entre painéis de LMPM: 1º pavimento



Fonte: Autor.

Em suma, as principais informações obtidas durante o acompanhamento da produção dos painéis foram em relação ao sistema de formas. No Quadro 9 são apresentadas as principais contribuições deste ciclo e na Tabela 1 são apresentados a quantidade e o percentual de painéis com problemas detectados durante o processo de montagem.

Quadro 9 - Contribuições do acompanhamento da montagem dos painéis de LMPM: 1º pavimento

Dimensão do gancho
Marcação de referência nas paredes
Isolamento da superfície com lona e desmoldante
Quebra do PaineL L05
Acabamentos de superfície inferior
Falhas na vibração
Entulhos da quebra da porção superior dos nichos

Fonte: Autor.

Tabela 1 - Problemas nos painéis de LMPM: 1º pavimento

Problema	Painéis	Quant.	%
Painéis quebrados durante o içamento	L05	1	9,09%
Painéis com irregularidades nos Nichos	L1, L2, L6 e L7	4	36,36%
Painéis com baixo padrão de acabamento de superfície inferior	L03, L04, L05, L08, L09 e L10	6	54,55

Fonte: Autor.

4.3.2 SEGUNDO CICLO DE APRENDIZAGEM: CICLO II – 2º PAVIMENTO

4.3.2.1 Produção dos Painéis de LMPM do 2º Pavimento

O sistema de travamento das formas no seu processo de montagem foi alterado, devido a dificuldades relatadas pelos trabalhadores para se garantir o esquadro na sua montagem. Além disso, o sistema utilizado na laje anterior se demonstrou frágil e com pouca durabilidade, apresentando danos causados durante o processo de desforma. O novo sistema adotado consiste em duas chapas com um tubo de aço soldado, uma fixada na Forma Transversal (FT) e outra na Forma Longitudinal (FL), travados transversalmente por um pino de aço, conforme ilustra a Figura 50.

Figura 50 - Pino de travamento do sistema de formas: 2º pavimento



Fonte: Autor.

Também se procedeu uma alteração no processo de Colocação das Armaduras e Eletrodutos, com a utilização da lona plástica em todos os painéis, pois, observou-se que, no processo de deslocamento dos painéis do pavimento inferior, as peças isoladas com desmoldante apresentaram dificuldades para seu deslocamento e acabamento da face inferior de baixa qualidade. Também se optou pela utilização de cubos de EPS nos PSE e PDE, em substituição ao tubo de PVC, pois, no pavimento inferior, alguns nichos feitos com PVC foram preenchidos acidentalmente com concreto, ocasionando retrabalho, conforme ilustrado na Figura 51.

Figura 51 - Colocação das armaduras e eletrodutos com uso de EPS: LMPM do 2º pavimento



Fonte: Autor.

No processo de Concretagem foram redimensionados os vazios dos ganchos de içamento, devido aos problemas encontrados no içamento do pavimento inferior. Com a utilização das lonas plásticas para o isolamento entre os painéis, não foi necessário um controle mais rigoroso de alisamento da superfície concretada (Figura 52), pois a lona garantiu face inferior de painéis mais lisos e com melhor acabamento, mesmo quando concretados sobre superfícies mais ásperas.

Figura 52 - Painéis de LMPM do 2º pavimento concretados sobre lonas



Fonte: Autor.

Em suma, as principais informações obtidas durante o acompanhamento da produção dos painéis de LMPM neste ciclo de aprendizagem se relacionaram ao sistema de formas, sendo o principal problema detectado apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 - Contribuições do acompanhamento da produção dos painéis de LMPM: 2º pavimento

Problema das caixas de teto abaixo do nicho

Fonte: Autor.

4.3.2.2 Montagem dos Painéis de LMPM do 2º Pavimento

Os painéis foram posicionados em duas pilhas, com 5 painéis em cada. Na pilha da esquerda (Figura 53), estavam os painéis L01-L05 e na pilha da direita os painéis L06-L10. Nesta etapa, ocorreram duas alterações em relação ao pavimento inferior. Inicialmente, o gestor de obras optou por modificar a posição das pilhas, para um melhor aproveitamento da área de estoque de materiais. A sequência de concretagem também foi alterada devido a uma falha de montagem do primeiro painel. De baixo para cima foram concretados L4, L5, L3, L2 e L1 na primeira pilha e L9, L10, L8, L7 e L6 na segunda pilha. Isso gerou maior dificuldade de montagem, pois foi necessário iniciar o içamento com o Painel L11, que faz divisa horizontal com 2 outros painéis de laje (L10 e L06), dificultando o seu alinhamento.

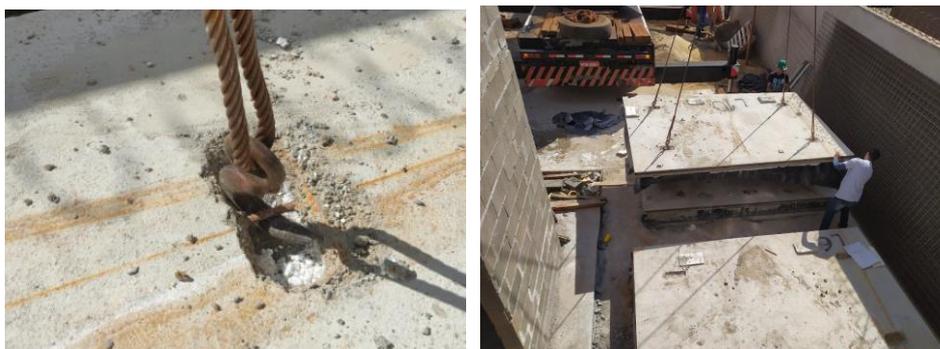
Figura 53 - Pilhas de painéis de LMPM: 2º pavimento



Fonte: Autor.

Outro fator importante observado durante a montagem diz respeito a alteração das dimensões dos vazios dos dispositivos de içamento. Como foram relatados problemas durante a montagem do pavimento inferior, foram alteradas as dimensões desses vazios para 10 x 20 cm, conforme ilustrado na Figura 54. Assim, foram dispensados ajustes manuais durante esse processo. O problema relatado durante a montagem dos painéis do pavimento inferior quanto ao deslocamento e acabamento superficial das peças foi amenizado neste ciclo de aprendizagem com o isolamento entre painéis com o uso de lona plástica.

Figura 54 - Dispositivo de içamento dos painéis de LMPM: 2º pavimento



Fonte: Autor.

Neste pavimento, todas as superfícies de painel apresentaram acabamento liso de livre de aderências. Porém, foram observadas irregularidades nas regiões de ganchos e furações de hidráulica preenchidas com areia (Figura 55).

Figura 55 - Acabamento de superfície inferior dos painéis de LMPM: 2º pavimento



Fonte: Autor.

Já em relação as falhas de vibração, neste pavimento observou-se apenas um painel com falha, a L8. Vale ressaltar que não foram adotados métodos para melhorar este aspecto, como alterações de traços ou mudança das técnicas de vibração. Foi possível notar que, no pavimento anterior, parte dessas falhas ocorreu devido a falhas de vibração, porém, em parte delas foi possível observar que ocorreu uma aderência dessa superfície no painel inferior (Figura 56). Assim, a utilização de lona não só proporcionou um melhor isolamento da superfície, como também um melhor escoamento do concreto no nicho.

Figura 56 - Falhas de vibração: 2º pavimento



Fonte: Autor.

Em suma, as principais informações obtidas durante o acompanhamento da produção dos painéis foram em relação ao sistema de formas. No Quadro 11 são apresentadas as principais contribuições deste acompanhamento, enquanto na Tabela 2 são apresentados a quantidade e o percentual de painéis com problemas detectados durante o processo de montagem.

Quadro 11 - Contribuições do acompanhamento da montagem dos painéis de LMPM: 2º pavimento

Dimensão do gancho
Falhas na vibração

Fonte: Autor.

Tabela 2 - Problemas nos painéis de LMPM: 2º pavimento

Problema	Painéis	Quant.	%
Painéis quebrados durante o lçamento	--	0	0,00%
Painéis com irregularidades nos Nichos	L08	1	9,09%
Painéis com baixo padrão de acabamento de superfície inferior	--	0	0,00%

Fonte: Autor.

4.3.3 TERCEIRO CICLO DE APRENDIZAGEM: CICLO III: 3º PAVIMENTO

4.3.3.1 Produção dos painéis de LMPM do 3º Pavimento

No processo de Montagem das Formas do 3º pavimento foram mantidas as alterações que foram realizadas no 2º pavimento, pois, durante o processo de montagem dos painéis do 2º pavimento, foi identificada apenas uma dificuldade executiva, a de se inserir as caixas de teto sobre os nichos das formas. Porém, se trata de um problema que pode ser resolvido na fase de compatibilização de projeto.

Outro detalhe observado, foi o dano (perfil amassado) causado nas extremidades das formas longitudinais ocorrido durante a remoção no processo de desforma (Figura 57). Esta ocorrência foi observada durante a concretagem dos últimos painéis, ou seja, após o jogo de formas ter sido utilizado 14 vezes. Essa parte da forma sofre maiores danos pois, como os nichos ficam totalmente embutidos no concreto, após a cura ocorre uma pressão nesta área, mesmo com o formato cônico do nicho, causando uma certa dificuldade em sua remoção. Já as demais partes do jogo de formas não apresentaram danos.

Figura 57 – Região danificada no perfil: 3º pavimento



Fonte: Autor.

Foram mantidas as alterações realizadas no Pavimento 2 em relação ao processo de Colocação das Armaduras e Eletrodutos. As alterações realizadas, como utilização dos cubos de EPS nos PSEs e PDEs e lona plástica para isolamento do fundo (face inferior do LMPM a ser concretado), tiveram boa aceitação pelos colaboradores e apresentaram bons resultados também na produção dos painéis do Pavimento 3 (Figura 58).

Figura 58 - Colocação das Armaduras e Eletrodutos no Painel de LMPM: 3º Pavimento



Fonte: Autor.

No processo de Concretagem também foram mantidas as alterações realizadas no Pavimento 2. O redimensionamento dos vazios dos ganchos de içamento também apresentaram bons resultados durante o içamento dos painéis do Pavimento 3 (Figura 59).

Figura 59 - Concretagem dos Painéis de LMPM: 3º pavimento



Fonte: Autor.

Em suma, as principais informações obtidas durante o acompanhamento da produção dos painéis foram em relação ao sistema de formas (Quadro 12).

Quadro 12 - Contribuições do Acompanhamento da Produção dos Painéis: 3º Pavimento

Problema das caixas de teto abaixo do nicho

Fonte: Autor.

4.3.3.2 Montagem dos Painéis de LMPM do 3º Pavimento

No processo de Montagem foi mantido o posicionamento das pilhas adotado no Pavimento 2 (Figura 60). Porém, foi corrigida a falha de ordenamento dos painéis que ocorreu no Pavimento 2, sendo concretadas, de baixo para cima, as L5, L4, L3, L2 e L1 na primeira pilha e as L10, L9, L8, L7 e L6 na segunda pilha. Com isso, foi possível realizar a montagem dos painéis iniciando pelo fundo conforme realizado no Pavimento 1.

Figura 60 - Pilhas de Painéis de LMPM: 3º pavimento



Fonte: Autor.

Já no processo de içamento dos painéis, observou-se um bom desempenho das dimensões dos ganchos, não sendo necessário ajustes manuais. Além disso, realizou-se a quebra da porção superior dos painéis antes de serem içados (Figura 61), evitando movimentação vertical de entulho e resolvendo a dificuldade encontrada nos Pavimentos 1 e 2. Outra alteração, já realizada na Montagem do Pavimento 2, que obteve um bom desempenho, foi a utilização e lonas plásticas, não havendo dificuldades no deslocamento dos painéis.

Figura 61 - Dispositivo de içamento da LMPM: 3º pavimento



Fonte: Autor.

Uma falha que ocorreu durante o Processo de Montagem diz respeito à falta de colocação dos Dispositivos de içamento do painel L4. Esse fato já havia sido notado durante a montagem do painel subsequente, porém, por segurança, optou-se por não se utilizar dispositivos inseridos após a pega do concreto, de forma que, somente para este painel, utilizou-se a cinta para içamento (Figura 62). Esse procedimento causou alguns problemas, como a quebra de parte da porção inferior dos nichos, que não suportaram o esforço da cinta, e uma maior dificuldade no alinhamento deste painel, pois, a própria cinta dificultava a visualização das referências de alinhamento.

Figura 62 - Painel L4 sem os ganchos de içamento: 3º pavimento



Fonte: Autor.

Em relação ao acabamento da superfície inferior dos painéis, no terceiro pavimento, todas as superfícies dos painéis de LMPM apresentaram acabamento liso e livre de aderências, com padrões similares ao pavimento anterior. Porém, como também observado no pavimento anterior, foram observadas algumas irregularidades nas regiões de ganchos e furações de hidráulica que foram preenchidas com areia (Figura 63).

Figura 63 - Acabamento de superfície inferior da LMPM: 3º pavimento



Fonte: Autor.

Já em relação as falhas de vibração, neste pavimento observou-se apenas um painel com falha, o L4 (Figura 64). Como no pavimento anterior, não foram adotados métodos para melhorar este aspecto. Assim, apesar de a utilização da lona plástica ter reduzido a quantidade de painéis que apresentaram falhas de vibração, ainda foram observados painéis com este problema. Apesar de não gerarem danos estruturais, essas falhas demandam um retrabalho, pois, na hora de se grautear as ligações dos painéis, nestes, é necessário colocar uma forma na parte inferior para se impedir o vazamento do concreto.

Figura 64 - Falhas de vibração do painel de LMPM: 3º pavimento



Fonte: Autor.

Vale ressaltar o nível de desgaste das formas metálicas ao final de todas as utilizações desta obra. Ao todo, os jogos de forma tipos A e B foram utilizados em 15 concretagens cada, sendo 5 em cada pavimento. Assim, notou-se que ambos apresentaram danos nas extremidades das peças longitudinais, conforme Figura 65, em que os trabalhadores precisavam puxar para destacar as formas. Esse processo demandava maior uso de força devido aos nichos, que ficavam totalmente embutidos no concreto. Apesar de esses possuírem formato cônico e de se aplicar desmoldante nas chapas, percebeu-se que o concreto exercia certa pressão na forma, contribuindo para um maior desgaste.

Figura 65 - Estado das formas após todas as utilizações: 3º pavimento



Fonte: Autor.

Em suma, as principais informações obtidas durante o acompanhamento da produção dos painéis foram em relação ao sistema de formas e no Quadro 13 são apresentadas as principais contribuições deste acompanhamento, enquanto na Tabela 3 são apresentados a quantidade e o percentual de painéis de LMPM com problemas detectados durante o processo de montagem.

Quadro 13 - Contribuições do Acompanhamento da Montagem dos Painéis: 3º Pavimento

Falhas na vibração

Fonte: Autor.

Tabela 3 - Problemas nos painéis: 3º pavimento

Problema	Painéis	Quant.	%
Painéis quebrados durante o içamento	--	0	0,00%
Painéis com irregularidades nos Nichos	L04	1	9,09%
Painéis com baixo padrão de acabamento de superfície inferior	--	0	0,00%

Fonte: Autor.

4.4 FASE C: ANÁLISE E REFLEXÃO

Em relação aos tópicos relatados nos processos de produção dos painéis e montagem de cada pavimento, observou-se que houve uma redução dos problemas relatados pelos gestores da obra, conforme Quadro 11 e Quadro 15. Parte desses problemas foi resolvida conforme o andamento da obra, levando-se em consideração as experiências adquiridas em cada um dos 3 pavimentos em que o processo se repetia. Alguns desses problemas permaneceram, devido a impossibilidade de se saná-los nesta obra ou porque os gestores desta entenderam que não seria viável sua solução.

Nos tópicos de problemas de produção dos painéis, somente um dos itens (caixas de teto abaixo do nicho) permaneceu durante a execução dos 3 pavimentos; os demais foram sanados. Em relação ao problema não sanado, relatou-se a dificuldade de se introduzir as caixas de teto na parte inferior dos nichos, pois, essas caixas tinham a exata dimensão da porção inferior dos nichos, dificultando a penetração do concreto nessas regiões. Os gestores da obra optaram por não resolver este problema, pois requeria alterações no jogo de formas ou alterações nos pontos de luz da edificação e pelo fato de o problema não gerar grandes dificuldades.

Em relação à montagem, foram adotados “numeração dos perfis” e “uso do esquadro externo de encaixe”, sanando as dificuldades enfrentadas pelos trabalhadores na montagem dos jogos de forma.

Observou-se também um maior desgaste dos jogos de forma longitudinais em suas extremidades. Isso se deveu ao fato de os trabalhadores exercerem maior pressão nessas regiões para se sacar as formas; por outro lado, as demais regiões permaneceram em bom estado. No Quadro 14 são sintetizados os principais problemas observados em cada pavimento.

Quadro 14 - Problemas de Produção dos painéis

1º Pavimento	2º Pavimento	3º Pavimento
Caixas de teto abaixo do nicho	Caixas de teto abaixo do nicho	Caixas de teto abaixo do nicho
Marcação dos cantos (numeração)	<i>Solucionado</i>	<i>Solucionado</i>
Introdução do esquadro externo de encaixe	<i>Solucionado</i>	<i>Solucionado</i>
Chapa do perfil 80x80 insuficiente (parafuso amassando)	<i>Solucionado</i>	<i>Solucionado</i>

Fonte: Autor.

As falhas de vibração oriundas da etapa de produção dos painéis permaneceram durante a execução dos 3 pavimentos; os demais problemas foram sanados para a execução

do pavimento 2 e, somente o item relativo à dimensão do gancho foi resolvido para o pavimento 3. Os gestores optaram por não resolver as falhas de vibração durante a obra, pois se tratava de um problema pontual e de fácil correção futura.

Já o problema de dimensão do dispositivo de içamento permaneceu durante os dois primeiros pavimentos; sendo adotadas as dimensões que melhor se ajustassem ao encaixe do gancho do guindaste do pavimento 3.

A lona foi adotada logo no meio da produção do primeiro pavimento com o objetivo de facilitar o deslocamento e melhorar o acabamento da superfície dos painéis.

A quebra do painel 5 foi ocasionada devido a aderência ao piso, problema já sanado com a adoção da lona. Sobre a quebra da porção superior do nicho, no primeiro pavimento constatou-se uma dificuldade em se retirar os entulhos que ficavam sobre as malhas de aço. Assim, a partir do 2º pavimento, realizou-se a quebra dessa porção com os painéis na pilha, antes do içamento, reduzindo o tempo demandado com o transporte de entulho.

Por fim, a marcação de referências nas paredes nas emendas dos painéis foi adotada logo no 1º pavimento, sendo considerada pelos gestores uma ação de baixa dificuldade, porém, de grande importância durante o processo de montagem. No Quadro 15 é sintetizada a evolução da solução dos problemas detectados ao longo dos pavimentos executados.

Quadro 15 – Evolução da solução dos problemas: Montagem dos Painéis

1º Pavimento	2º Pavimento	3º Pavimento
Falhas na vibração	Falhas na vibração	Falhas na vibração
Dimensão do gancho	Dimensão do gancho	<i>Solucionado</i>
Isolamento da superfície com lona e desmoldante	<i>Solucionado</i>	<i>Solucionado</i>
Quebra do Painel L05	<i>Solucionado</i>	<i>Solucionado</i>
Acabamentos de superfície inferior	<i>Solucionado</i>	<i>Solucionado</i>
Entulhos da quebra da porção superior dos nichos	<i>Solucionado</i>	<i>Solucionado</i>
Marcação de referência nas paredes	<i>Solucionado</i>	<i>Solucionado</i>

Fonte: Autor.

Sobre a qualidade dos painéis, no que diz respeito ao escopo deste trabalho, foram adotados três parâmetros de avaliação, conforme Tabela 4 e Figura 66: painéis quebrados durante o içamento, painéis com baixo padrão de acabamento de superfície inferior e painéis com irregularidades nos nichos.

Em relação aos painéis quebrados durante o Içamento, observou-se somente uma ocorrência no 1º pavimento, em um painel de laje que teve sua base isolada com desmoldante, e não com a lona plástica como adotado posteriormente.

Em relação ao problema dos painéis com baixo padrão de acabamento da superfície inferior, observou-se que ocorreu somente no 1º pavimento, nos três primeiros painéis concretados em cada pilha. Assim, levando em consideração que esses painéis tiveram suas superfícies isoladas com desmoldante, concluiu-se que o problema foi resolvido a partir do momento em que se adotou a lona plástica.

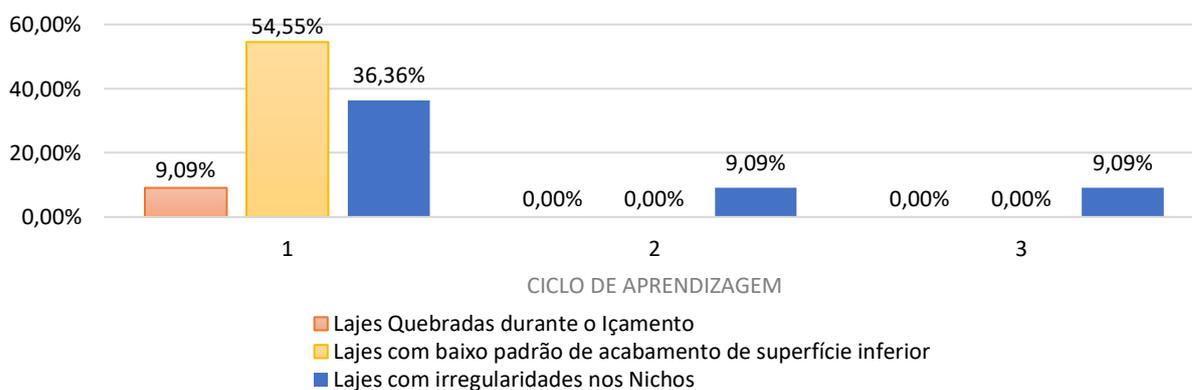
Por fim, em relação aos painéis com irregularidades nos nichos, foram observadas 4 ocorrências no 1º pavimento, 1 ocorrência nos 2º e 3º pavimentos. Este tópico foi o único que permaneceu em todos os pavimentos, podendo ser associado a falhas operacionais dos operadores. Porém, observou-se uma melhora dos 2º e 3º pavimento em relação ao 1º, fato este que pode ser relacionado à adoção da lona plástica, que reduziu a aderência entre concreto fresco e a superfície. Em se tratando do problema de escoamento do concreto fresco, podem ser especificados concretos mais fluidos, com *slump* superior aos adotados, em futuras produções destes painéis.

Tabela 4 - Qualidade dos painéis de LMPM

Problema	1º Pavimento			2º Pavimento			3º Pavimento		
	Painéis	Qt.	%	Painéis	Qt.	%	Painéis	Qt.	%
Painéis quebrados durante o Içamento	L05	1	9,09	--	0	0,00	--	0	0,00
Painéis com baixo padrão de acabamento de superfície inferior	L03, L04, L05, L08, L09 e L10	6	54,55	--	0	0,00	--	0	0,00
Painéis com irregularidades nos Nichos	L1, L2, L6 e L7	4	36,36	L08	1	9,09	L04	1	9,09

Fonte: Autor.

Figura 66 – Representação gráfica da qualidade dos painéis de LMPM



Fonte: Autor.

5 DIRETRIZES PARA PADRONIZAÇÃO DO PROJETO PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE LMPM

Neste capítulo são apresentadas as diretrizes para padronização do projeto para produção de painéis de LMPM, considerando os seus aspectos gerais e específicos no que diz respeito ao detalhamento deste projeto. As bases destas diretrizes, conforme já apontado neste trabalho, advém da revisão da literatura e da experiência obtida em um caso prático relatado no capítulo anterior.

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para se compatibilizar o projeto dos painéis de laje, deve-se executar a paginação destes com base no projeto arquitetônico, priorizando a definição do menor número de tipos diferentes de painéis, uma vez que o sistema permite a emenda entre painéis, mesmo que não ocorra sobre as alvenarias dos ambientes definidos no projeto arquitetônico. Assim, recomenda-se a utilização de o máximo de painéis com as mesmas dimensões possíveis, no que diz respeito à sua largura e comprimento ou, se não for possível, ao menos em sua largura de forma a se obter um maior aproveitamento das formas e reduzir a área necessária no canteiro de obras para sua produção.

Também, se faz necessário projetar o canteiro de obras considerando a locação das pilhas de painéis de lajes concretados e o posicionamento do guindaste visando içar os painéis em toda a extensão da área de montagem dos painéis no pavimento-tipo e em todos os pavimentos, principalmente, o último pavimento.

Já em relação ao sistema de formas, este é composto por formas transversais e longitudinais, que permitem uma fácil personalização de dimensões. Neste sistema, as formas longitudinais são apoiadas nas ligações com as formas transversais, e estas são apoiadas sobre duas sapatas sobrepostas ao painel inferior da pilha de painéis de lajes. Um ponto importante a se observar é a capacidade dos perfis de ambos os tipos de forma, para que não ocorra a flexão devido à distância entre os apoios. Neste trabalho, observou-se que os perfis adotados se comportaram bem para os vãos de até 4,75 m. Com isso, o vão máximo testado no estudo de campo deste trabalho condiz com os vãos máximos mais utilizados, que segundo pesquisa realizada por Silva e Paliari (2021), estão entre 1,00 e 5,00 metros.

Já em relação ao travamento das formas, o melhor sistema testado neste trabalho foi o de dois tubos de aço presos respectivamente a FL e na FT, fixados por um pino. Este sistema, tipo dobradiça, permite um melhor ajuste de ângulo, alcançado por dois esquadros metálicos presos as superfícies destas formas.

Outro ponto a se observar é a altura dos painéis de lajes, pois, em lajes muito esbeltas pode ocorrer dificuldades de compatibilização, como: necessidade de limitar a espessura de eletrodutos, caixas de teto e sobreposição de armaduras. Assim, no caso analisado neste trabalho, não se detectou dificuldades na alocação de eletrodutos de até 32 mm de diâmetro e armaduras de 5 mm de diâmetro. Porém, se observou que, em alguns pontos críticos, principalmente na alocação de eletrodutos e caixas de teto, a espessura da laje estaria em seu limite, ou seja, uma redução de espessura impossibilitaria a utilização destes elementos respeitando o cobrimento das armaduras. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) estabelece que a espessura mínima para lajes maciças de piso é de 7 cm, ou seja, 2 cm a menos do adotado no estudo de caso deste trabalho. Com isso, como observado, a espessura mínima para as LMPM, respeitando as dimensões de compatibilização básica dos projetos é de 9 cm.

Também se ressalta a importância da compatibilização dos projetos elétricos, hidráulicos e estrutural, pois existem várias particularidades do sistema de painéis de LMPM que demandam alterações nestas interfaces. Neste sentido, a ligação de eletrodutos entre os painéis é um ponto que diferencia esse sistema das lajes maciças convencionais, pois, é necessária a previsão de um Ponto de Ligação Elétrico (PLE) entre os painéis. O PLE consiste na locação de blocos de isopor nas faces dos painéis, de maneira que fiquem alinhados entre os painéis vizinhos, onde são introduzidos os eletrodutos que devem transpassar de uma laje para a outra. Isso permite que posteriormente, após a montagem, possa se remover os blocos de isopor e se realizar a ligação dos eletrodutos por meio de luvas plásticas.

Por outro lado, os PSE e os PDE consistem no mesmo sistema de ligação de eletrodutos, porém, entre os painéis e as paredes. Nesses casos os blocos devem ficar alinhados com as superfícies inferiores, no caso dos PDE, e superiores, no caso dos PSE. Ademais, em relação as tubulações hidráulicas, apesar de não estarem embutidas no concreto dos painéis, faz-se necessária a previsão dos furos para passagem vertical dessas tubulações. No que tange a compatibilização, esses pontos de passagem de tubulação não podem ser alterados, porém, impactam no caminho dos eletrodutos e na locação dos dispositivos de içamento, para evitar interferências.

Em relação a compatibilização com o projeto estrutural, esta consiste basicamente na locação da: malha inferior, malha superior, armaduras transversais de ligação e armadura dos dispositivos de içamento. Observou-se que a locação das malhas não afeta as demais interfaces, por estarem no plano horizontal; já a locação dos dispositivos de içamento sim, porém, devido seu reposicionamento alterar toda a distribuição de esforços de içamento, recomenda-se a manutenção desses posicionamentos e a alteração das possíveis interfaces conflitantes.

5.2 DIRETRIZES PRELIMINARES

Tendo em vista as considerações apontadas, são apresentadas as diretrizes preliminares para elaboração de projeto para produção de LMPM. Essas, têm como objetivo dar suporte às principais tomadas de decisão que antecedem o início do projeto das LMPM. Assim, são elas:

- a) **Análise do pavimento-tipo da edificação e definição das dimensões dos painéis.** Neste caso deve-se avaliar a geometria do contorno do pavimento-tipo e das paredes que serão definidas como apoio dos painéis. Assim, a laje do pavimento-tipo pode ser dividida em painéis padronizados, e nos locais onde não seja possível locá-lo, poderão ser estabelecidos os painéis especiais.
- b) **Definição do tipo de equipamento que realizará o içamento.** Neste caso, devem ser avaliados parâmetros como: o peso do maior painel, o local onde será posicionado o equipamento de içamento, a maior distância horizontal de transporte e a altura do edifício. Com essas informações pode-se definir o tipo de equipamento a ser utilizado.
- c) **Análise do acesso do equipamento ao canteiro.** Além de verificar o local onde será posicionado o equipamento, deve-se verificar o seu acesso, considerando a sua entrada, manobra e área de patolamento. Ademais, deve-se verificar a posição da rede elétrica, pois em alguns casos o transporte precisará ser realizado por cima dela. Deve-se atentar para a área de manobra, a área de patolamento e a posição da rede elétrica.

5.3 DIRETRIZES GERAIS

As diretrizes gerais, tratadas neste capítulo, definem a apresentação das informações necessárias para a produção e montagem dos painéis padronizados de LMPM, ou seja, na elaboração do Projeto para Produção desse sistema. São elas:

- a) O projeto de painéis padronizados de LMPM deve conter informações de quatro outros projetos preliminares, sendo eles: projeto de arquitetura, projeto de instalações elétricas, telefonia e lógica, projeto de instalações hidráulicas e sanitárias e projeto de estruturas. Assim, antes da elaboração do projeto para produção, devem ser realizados os seguintes passos:
 - i. Definição da paginação dos painéis: definir o sentido do comprimento e a largura ideal para o projeto, bem como as regiões das emendas, considerando o Projeto de Arquitetura;

- ii. Definição dos PLE e trajeto dos eletrodutos, sendo esta informação utilizada para a elaboração do Projeto de Instalações Elétricas, Telefonia e Lógica;
 - iii. Identificar/adotar o diâmetro necessário para os eletrodutos por meio de consulta ao Projeto de Instalações Elétricas, Telefonia e Lógica;
 - iv. Identificar/adotar a disposição das armaduras por meio de consulta ao Projeto de Estruturas;
 - v. Identificar/adotar posicionamento das furações para passagem vertical das tubulações por meio da consulta Projeto de Instalações Hidráulicas e Sanitárias.
 - vi. Verificar a compatibilidade e possíveis adequações das informações recebidas
- b) Na apresentação física do Projeto para Produção, levando-se em consideração a quantidade de informações que deverá constar e a ordem de grandeza dos elementos a serem apresentados, recomenda-se a utilização de pranchas no tamanho A3 e apresentação dos painéis em escala não inferior a 1:25. Além disso, devido ao nível de precisão necessário, recomenda-se a adoção de cotas em centímetros.
- c) No caderno de projetos a se apresentar, recomenda-se a adoção de pranchas horizontais (no formato de paisagem), sendo elas:
- i. Prancha de locação dos painéis no pavimento;
 - ii. Prancha de locação das pilhas de painéis de laje e locação do guindaste no canteiro de obras;
 - iii. Pranchas com o detalhamento dos painéis: devem constar os posicionamentos dos PLE, PDE, PSE, DI, Furações de hidráulica, posicionamento das armaduras, tabelas de quantitativo de materiais e componentes, detalhe de fabricação dos DI, apresentação, em cortes detalhados, dos nichos e cobrimento das armaduras;
 - iv. Prancha de fabricação das formas: deve constar a dimensão dos perfis, numeração das peças, detalhe das regiões de reforço, detalhe da ligação, detalhe das furações para conferência do esquadro, detalhe das sapatas de apoio e detalhe dos nichos;

5.4 DIRETRIZES ESPECÍFICAS E DETALHES GRÁFICOS

As diretrizes específicas, tratadas neste capítulo, complementam as diretrizes gerais apresentadas anteriormente. Ressalta-se que os detalhes gráficos que serão apresentados consistem em exemplos genéricos de um projeto, a fim de se exemplificar as diretrizes explanadas. Assim, seguem as diretrizes específicas para a elaboração de Projetos para Produção:

1 - Prancha de locação dos painéis no pavimento (Figura 67):

1.1 - Em relação as definições do painel padrão:

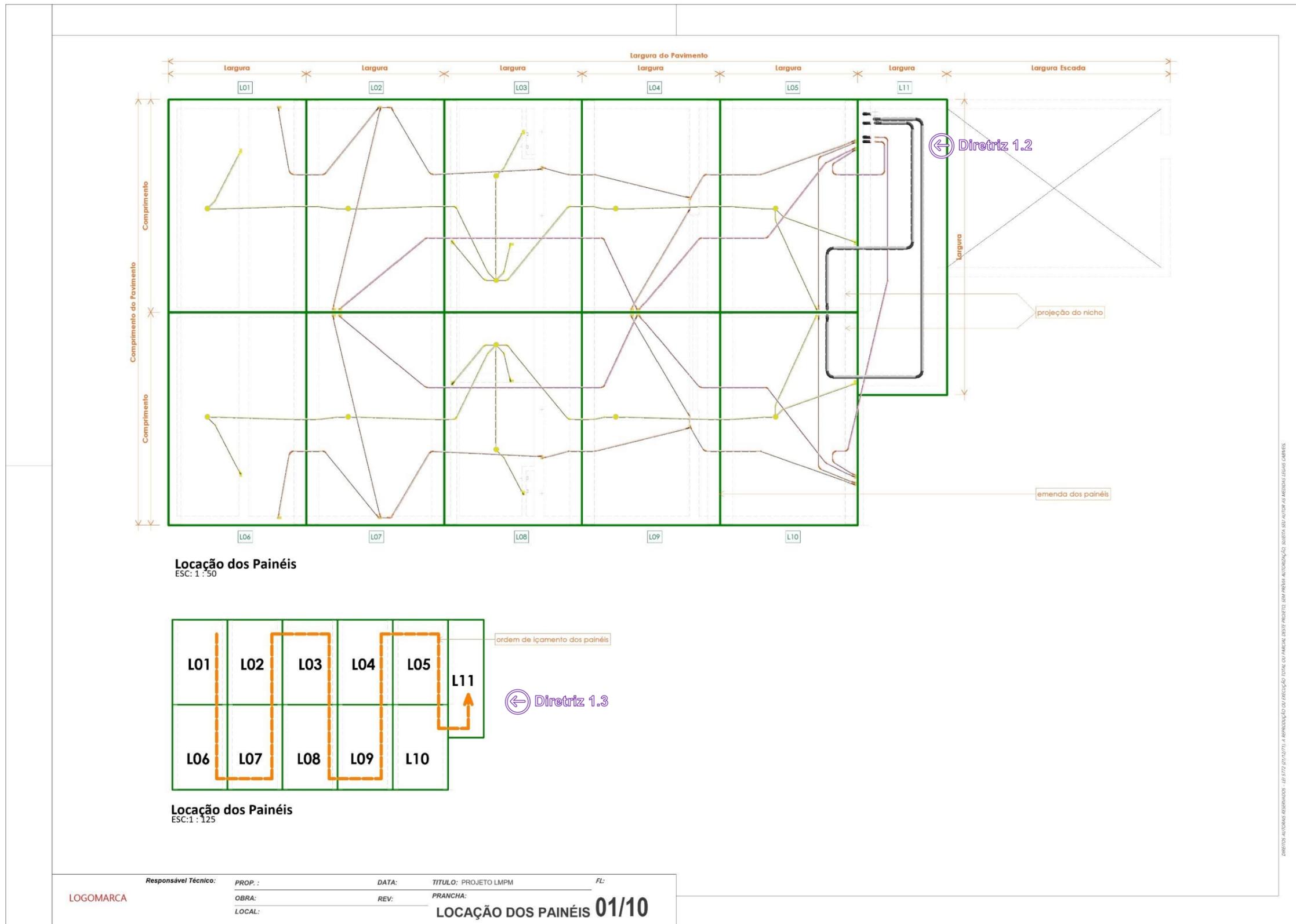
1.1.1. Os painéis de LMPM podem ser produzidos com dimensões que variam na largura e comprimento. Assim, analisando as dimensões do pavimento-tipo, o projetista deverá definir as dimensões de largura e comprimento do “painel padrão”. Painéis com essas mesmas dimensões deverão cobrir a maior parte (área) do pavimento, e, nos locais onde não for possível a locação do painel padrão, se definirá os “painéis especiais”, com medidas únicas em cada pavimento.

1.1.2. O projetista deve dimensionar os painéis de maneira que possuam emenda somente em uma direção (em duas interfaces paralelas dos painéis). As outras duas interfaces dos painéis, são reservadas a locação das sapatas de apoio das formas. Assim, essa situação deve ser devidamente prevista no projeto estrutural.

1.2 - Na prancha de locação dos painéis de LMPM deverá constar as posições dos eletrodutos, identificação das emendas e projeção dos nichos. Assim, se deve atentar para: evitar a locação de caixas de luz sobre a projeção dos nichos e garantir uma distância adequada entre os eletrodutos que atravessam de um painel para o outro.

1.3 - Deverá constar uma planta, com escala menor, para orientação da numeração dos painéis de LMPM e indicando a ordem de içamento.

Figura 67 - Prancha de Locação dos Painéis



Fonte: Autor.

2 - Prancha de locação das pilhas de painéis de laje e locação do guindaste no canteiro (Figura 68):

2.1 - Em relação as definições iniciais:

2.1.1. Inicialmente, deve-se definir a quantidade de “painéis padrões” e de “painéis especiais”, pois necessariamente estarão em pilhas diferentes.

2.1.2. Dependendo da quantidade de “painéis padrões”, irá se decidir, juntamente com o gestor da obra, a quantidade de pilhas para produção, pois, isso definirá a velocidade com a qual os painéis de LMPM serão produzidas.

2.1.3. Deverá ser definido também o traço do concreto, levando em consideração o cronograma da obra, considerando a possibilidade de uso de aditivos para concreto autoadensável (a depender da viabilidade financeira), cimento ARI, produção *in loco* ou usinada. Além disso, recomenda-se o uso da lona plástica para isolamento das superfícies. Por fim, deve-se prever a pista de concretagem executava em piso resistente e nivelado.

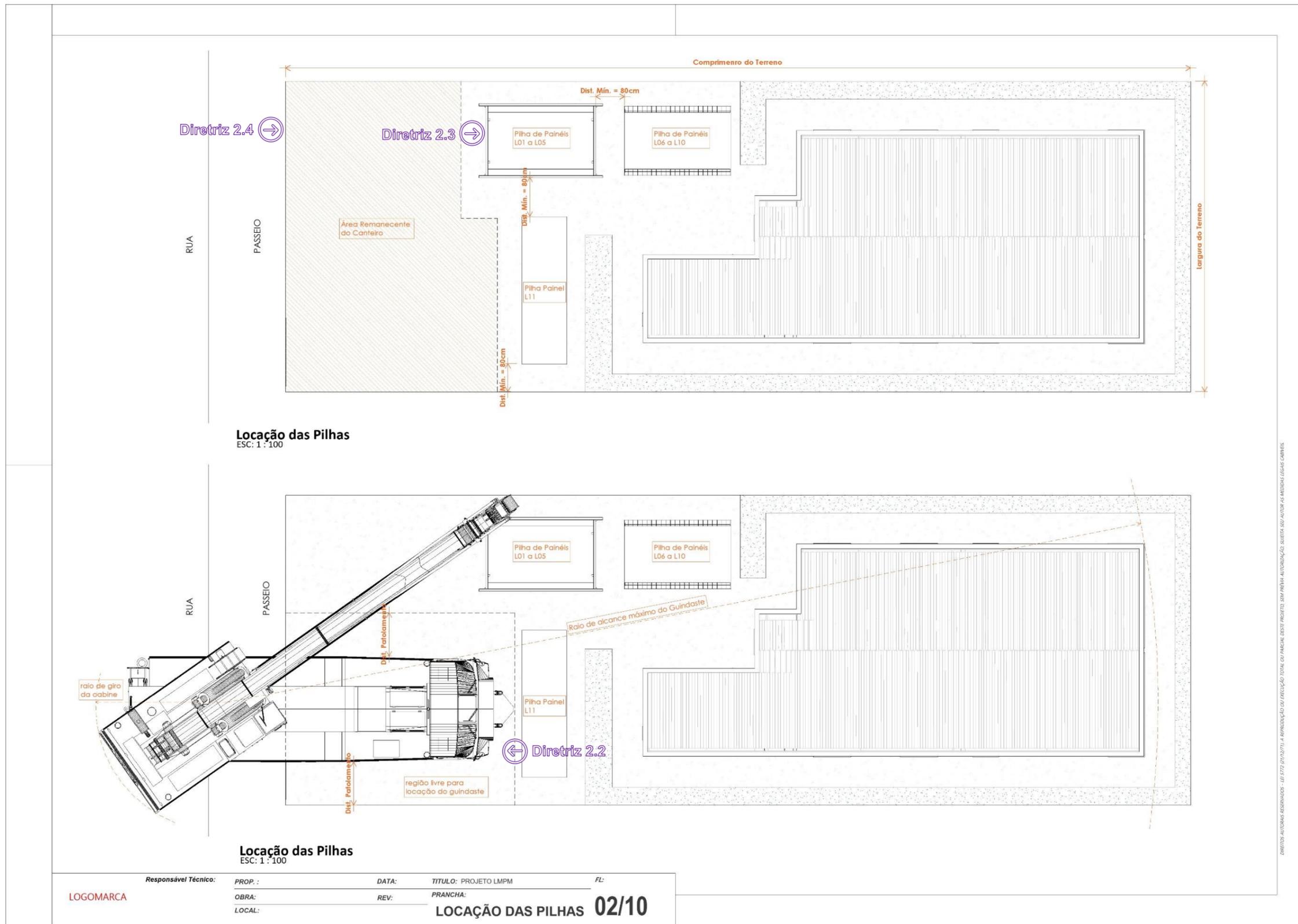
2.2 - Para a definição dos espaços a se ocupar no canteiro, o primeiro ponto consiste na locação do guindaste, pois, a impossibilidade de se posicionar este inviabilizará o uso do sistema. O guindaste poderá ocupar a área remanescente do canteiro, o passeio público e a rua, desde que sejam avaliadas as respectivas viabilidades junto aos órgãos competentes, inclusive. Além disso, deve-se identificar o alcance máximo necessário do guindaste e o peso do painel mais distante a ser montado, para se avaliar as capacidades do equipamento. Também deverá constar o raio de giro da cabine e a área de patolamento.

2.3 - Feito isso, irá se distribuir as pilhas no canteiro, deixando-as o mais próximo possível e, preferencialmente, com os painéis na mesma posição que serão içados no pavimento, para se evitar a necessidade de giro.

Deve-se respeitar uma distância mínima de 80 cm entre a pilha e os demais obstáculos, para trabalho e passagem dos operários.

- 2.4 -** Demarcar a área remanescente no canteiro. Deve-se atentar que a área ocupada pelo guindaste será provisória, devendo-se avaliar a logística de ocupação da área remanescente para que, no momento do içamento, esta área esteja livre.

Figura 68 – Prancha da localização das pilhas de painéis de laje



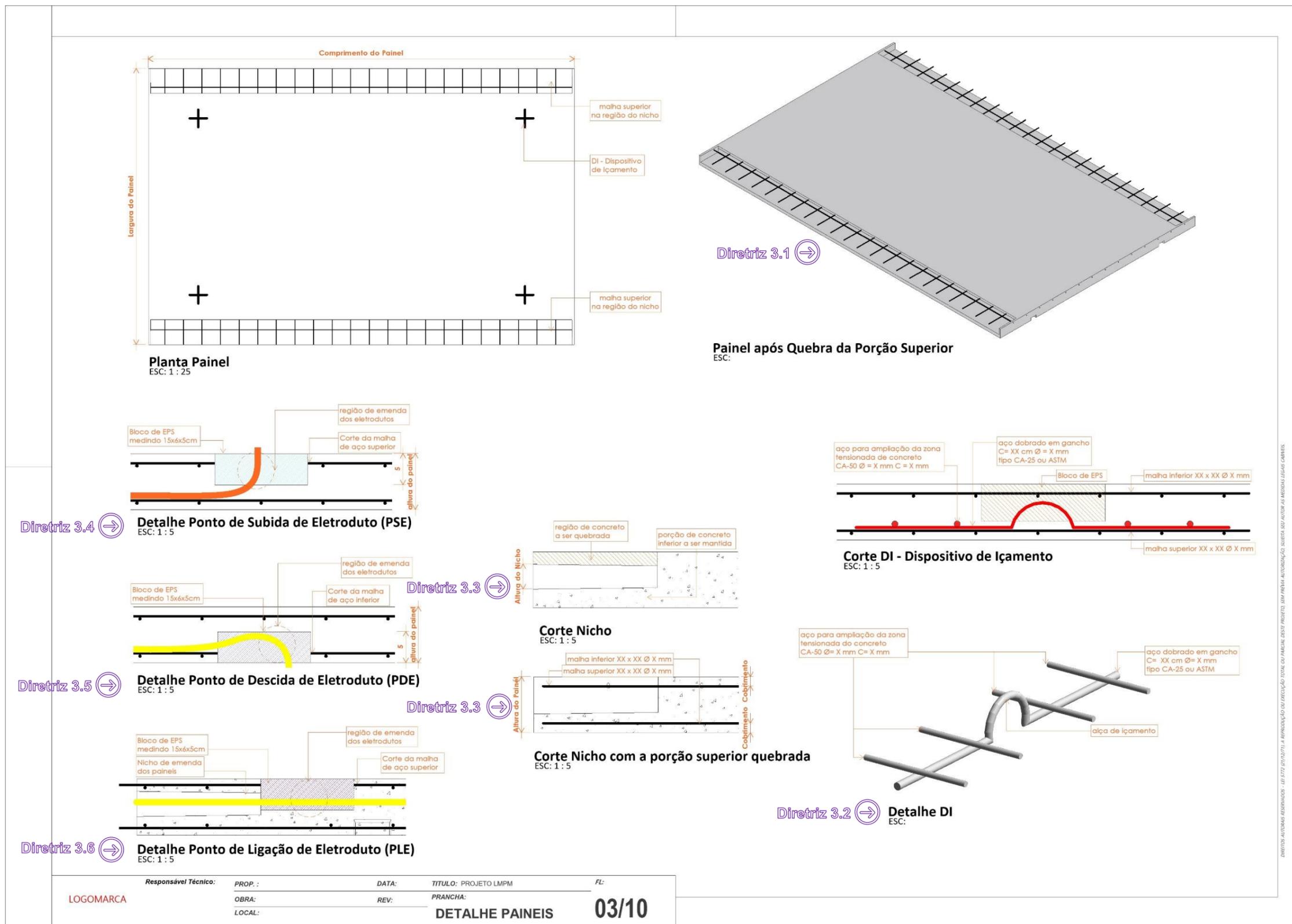
OBJETOS AUTOMAS RESERVADOS - LEI 5772-07/2011 - A REPRODUÇÃO OU EXECUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA PRANCHA, SEM PERMISAÇÃO AUTORIZADA, SUJEITA SER AUTORA AS MEDIDAS LEGAIS CABELES.

Fonte: Autor.

3 - Pranchas com detalhes dos painéis (Figura 69):

- 3.1 -** Deverá ser criada uma prancha genérica de um painel de LMPM, demonstrando os detalhes dos dispositivos que serão produzidos. Assim, para ilustrar, deverá constar na prancha uma planta e uma perspectiva do “painel padrão”, demonstrando as dimensões, os nichos, os DI e a armadura da porção superior.
- 3.2 -** Em relação aos DI, os detalhamentos devem ser definidos no projeto estrutural, mas na prancha de produção, devem constar um detalhe em corte e uma vista em perspectiva, devido ao dispositivo possuir aço em duas direções. Deve-se apresentar as dimensões, a altura da alça, tipo e diâmetro do aço. Além disso, deve-se detalhar o bloco de EPS para recobrir a alça durante a concretagem.
- 3.3 -** Já em relação ao Nicho, além de identificá-lo na planta, deve-se apresentar um detalhe em corte, demonstrando a porção inferior de concreto e porção superior a ser quebrada. Além disso, identificar as posições das malhas superiores e inferiores, incluindo o cobrimento e dimensões das alturas.
- 3.4 -** Apresentar detalhe em corte dos PSE, demonstrando a curva de subida do eletroduto. Além disso, identificar as dimensões do bloco de EPS que recobre a do eletroduto e região de corte da malha superior.
- 3.5 -** Apresentar detalhe em corte dos PDE, demonstrando a curva de descida do eletroduto. Além disso, identificar as dimensões do bloco de EPS que recobre a do eletroduto e região de corte da malha inferior.
- 3.6 -** Apresentar detalhe em corte dos PLE nos nichos, demonstrando bloco de EPS na porção superior faceado com o nicho. Demonstrar zona de emenda do eletroduto e a região de corte da malha superior para colocação do bloco de EPS.

Figura 69 - Prancha de Detalhes do Painei

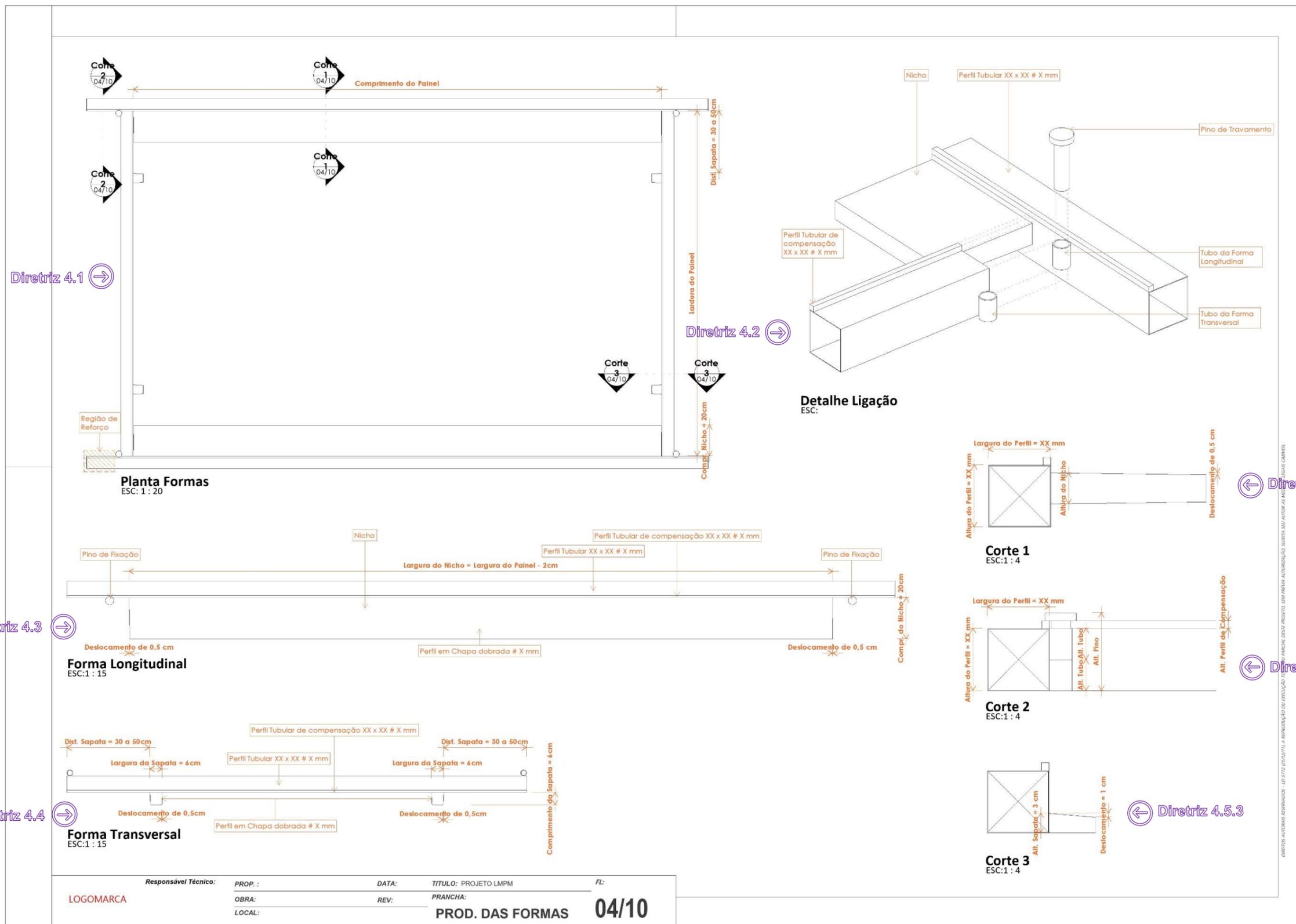


Fonte: Autor.

4 - Prancha de produção das formas (Figura 70):

- 4.1 -** A planta de forma deve apresentar as formas transversais e longitudinais já montadas, identificando as dimensões do painel, a região de reforço e de projeção do nicho.
- 4.2 -** A ligação entre as formas transversais e longitudinais deve ser detalhada em perspectiva. Assim, devem ser identificados os perfis utilizados, com dimensões e espessuras de chapa, dos perfis principais, perfil de complemento de altura e nicho. Além disso, devem ser identificados os perfis utilizados nos tubos e pino de travamento.
- 4.3 -** A forma longitudinal deve ser apresentada em planta, identificando a dimensão do comprimento, identificação do tubo e pino de travamento, e no nicho. Além disso, apresentar os detalhes dos perfis e espessura da chapa e dimensão de afunilamento do nicho.
- 4.4 -** A forma transversal deve ser apresentada em planta, identificando a dimensão do comprimento, identificação do tubo de travamento e das sapatas de apoio. Além disso, apresentar os detalhes dos perfis, espessura da chapa e dimensão de afunilamento das sapatas de apoio.
- 4.5 -** Em relação aos detalhes das formas:
- 4.5.1.** Apresentar em corte detalhe do nicho, identificando as dimensões da porção superior e inferior de concreto, bem como a dimensão de afunilamento da altura do nicho.
- 4.5.2.** Apresentar em corte o detalhe da ligação das formas, demonstrando a sobreposição dos tubos e posição do pino de travamento.
- 4.5.3.** Apresentar em corte o detalhe da sapata de apoio, suas dimensões e dimensão de afunilamento da parte superior.

Figura 70 - Prancha de Produção das Formas



Diretriz 4.1 →

Diretriz 4.2 →

Diretriz 4.3 →

Diretriz 4.4 →

← Diretriz 4.5.1

← Diretriz 4.5.2

← Diretriz 4.5.3

Fonte: Autor.

5 - Pranchas de produção dos painéis de laje (Figura 71, Figura 72, Figura 73, Figura 74, Figura 75 e Figura 76):

- 5.1 -** Na lateral da prancha deverá constar as tabelas de quantitativo de materiais e componentes. As tabelas devem constar os materiais/componentes necessários para se produzir um painel. Deverá constar também a legenda dos símbolos da prancha como: caixa de luz, furação de hidráulica, eletrodutos, PLE, PDE, PSE e DI.

- 5.2 -** Deve constar ainda um ou mais painéis de laje; se houver dois ou mais painéis, deve-se optar por não se seguir a ordem numérica, e sim colocar os painéis que serão produzidos em uma mesma concretagem, e, preferencialmente, na mesma posição que estarão no canteiro.

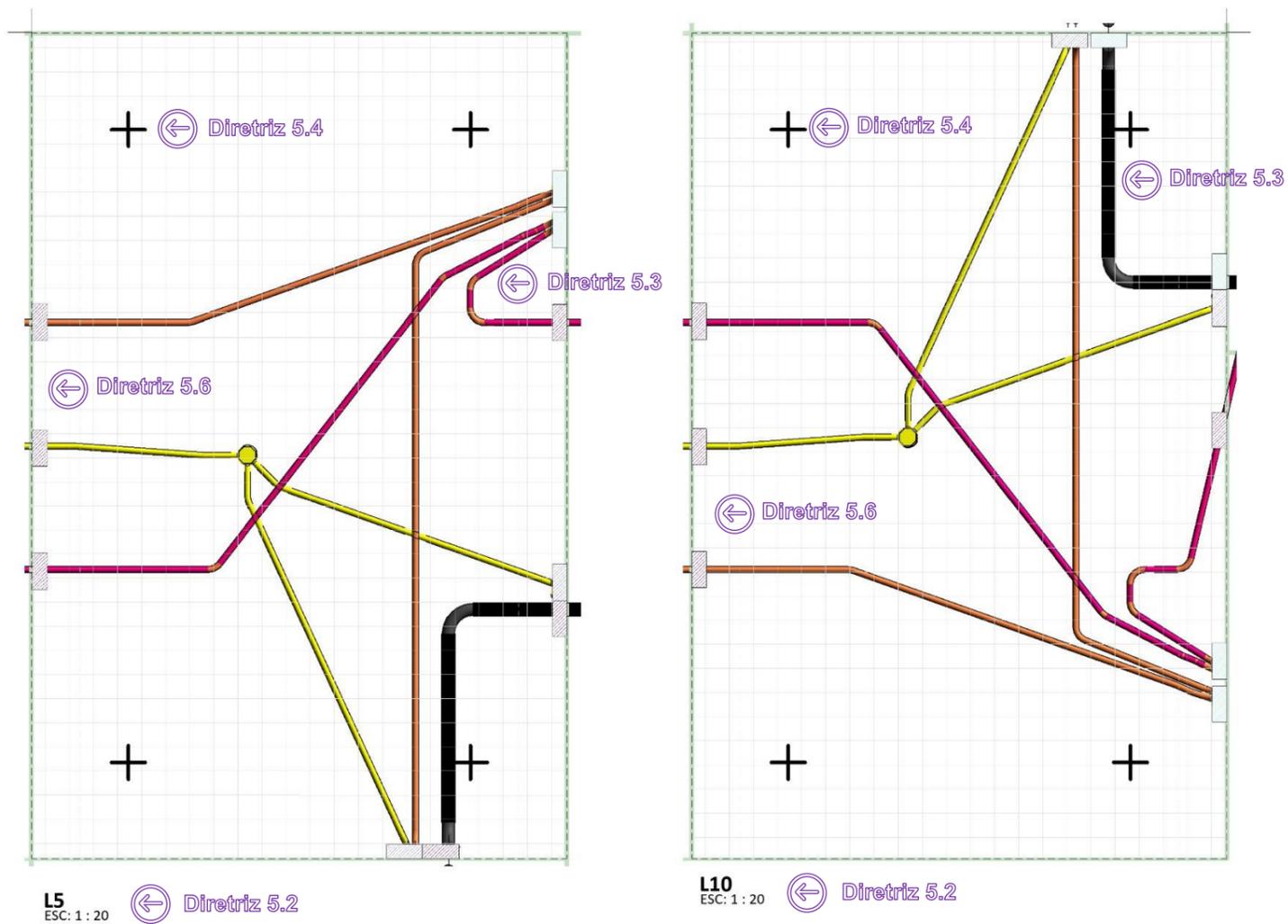
- 5.3 -** Nas plantas dos painéis devem constar as caixas de luz e os caminhos dos eletrodutos. Deve-se verificar se a altura do painel é suficiente para abrigar os cruzamentos de eletrodutos necessários.

- 5.4 -** Evitar a sobreposição de eletrodutos e DI. Preferencialmente, deve-se optar por uma posição dos DI que não conflite com eletrodutos em nenhum painel, para se padronizar as posições e facilitar a execução.

- 5.5 -** Hachurar a região de malha de aço nas lajes, descrever nas notas o diâmetro e espaçamento do aço. Se for necessário o reforço de armadura em alguma região de algum painel, deve-se demarcar e identificar a região em planta.

- 5.6 -** Nos PLE deve-se evitar que sejam próximos uns aos outros, pois isso facilita a identificação desses eletrodutos durante o grauteamento das ligações dos painéis.

Figura 71 - Prancha painéis L5 e L10



NOTAS:

- 1 - Nota
- 2 - Nota
- 3 - Nota
- 4 - Nota
- 5 - Nota
- 6 - Nota
- 7 - Nota

← Diretriz 5.5

QUANTITATIVO PAINEL "X"	
Espaçador cadelirinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Teto)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

← Diretriz 5.1

QUANTITATIVO PAINEL "X"	
Espaçador cadelirinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Teto)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

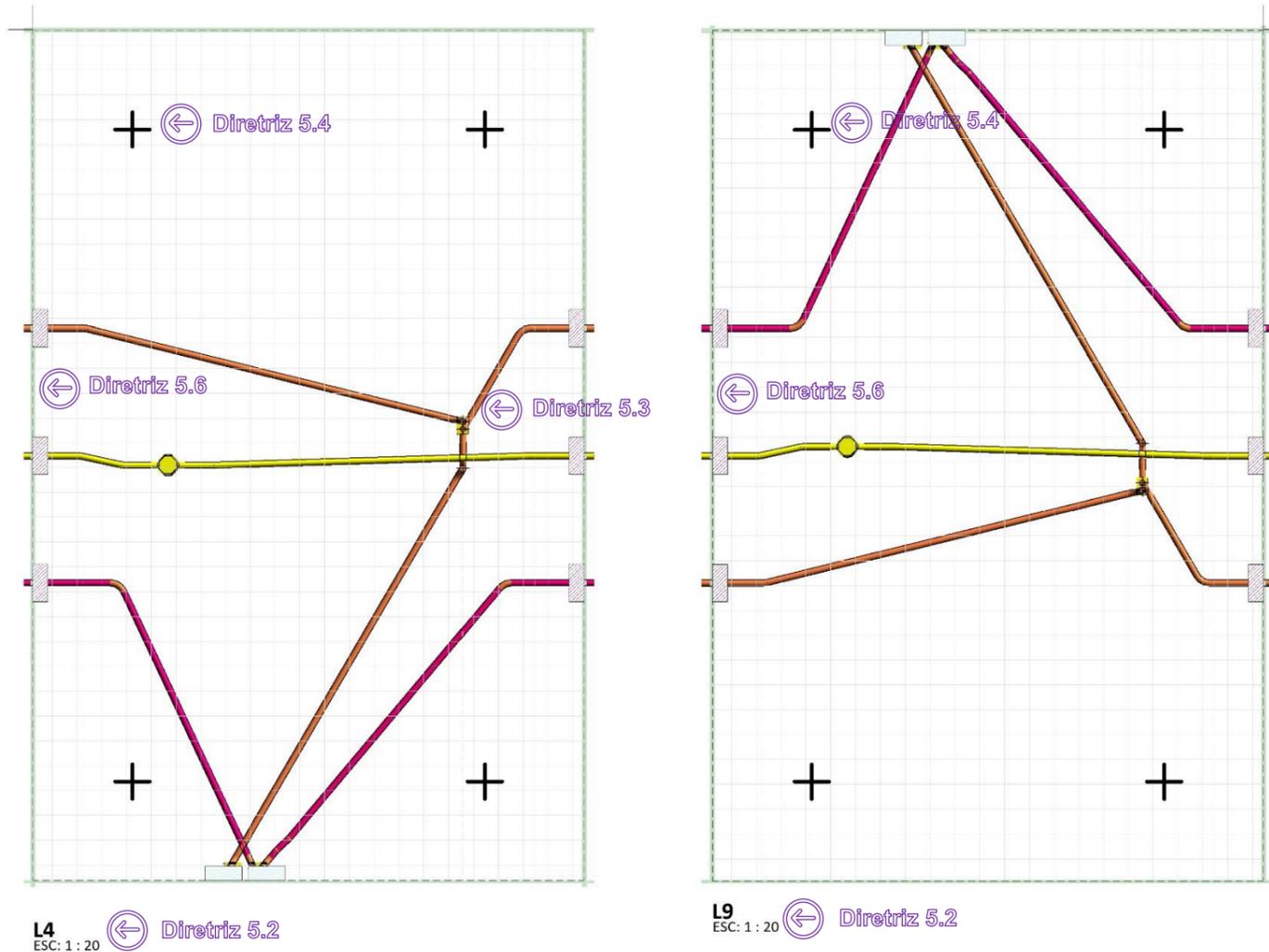
← Diretriz 5.1

LEGENDA	
	CL - Caixa de Luz
	Furação para Hidráulica
	Eletroduto 32mm
	Eletroduto 25mm
	PLE - Ponto de Ligação de Eletroduto
	PDE - Ponto de Descida de Eletroduto
	PSE - Ponto de Subida de Eletroduto
	DI - Dispositivo de Içamento

Responsável Técnico: _____ PROP.: _____ DATA: _____ TÍTULO: PROJETO LMPM FL: _____
 LOGOMARCA OBRA: _____ REV: _____ PRANCHA: _____ 05/10
 LOCAL: _____ LAJE L5 e L10

Fonte: Autor.

Figura 72 - Prancha painéis L4 e L9



- NOTAS:**
- 1 - Nota
 - 2 - Nota
 - 3 - Nota
 - 4 - Nota
 - 5 - Nota
 - 6 - Nota
 - 7 - Nota

QUANTITATIVO PAINEL "X"

Espaçador cadelirinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Teto)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

QUANTITATIVO PAINEL "X"

Espaçador cadelirinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Teto)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

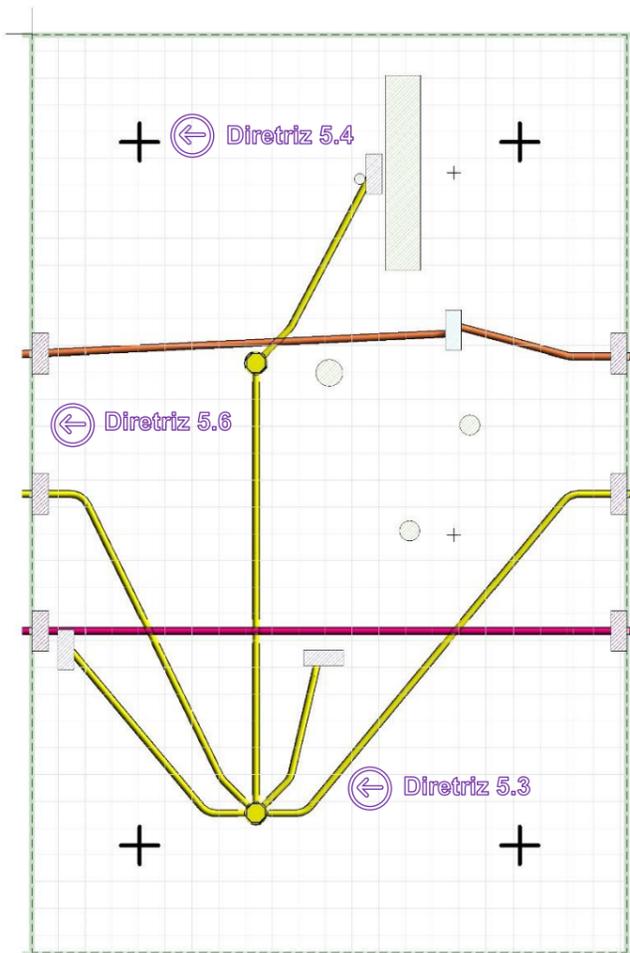
LEGENDA

	CL - Caixa de Luz
	Furação para Hidráulica
	Eletroduto 32mm
	Eletroduto 25mm
	PLE - Ponto de Ligação de Eletroduto
	PDE - Ponto de Descida de Eletroduto
	PSE - Ponto de Subida de Eletroduto
	DI - Dispositivo de Içamento

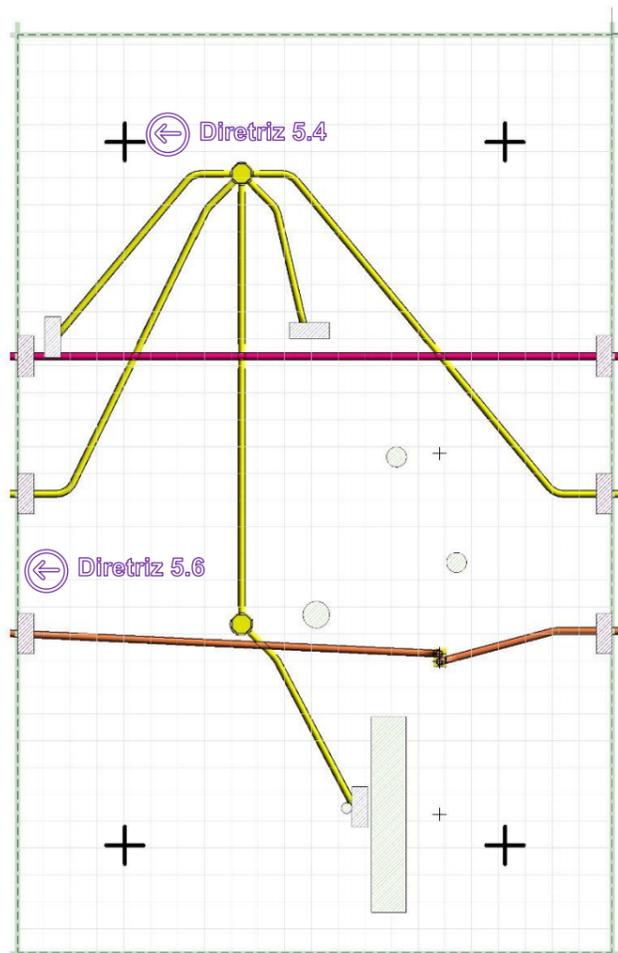
LOGOMARCA Responsável Técnico: _____ PROP.: _____ DATA: _____ TÍTULO: PROJETO LMPM FL: _____
 OBRA: _____ REV: _____ PRANCHA: _____
 LOCAL: _____ LAJE L4 E L9 06/10

Fonte: Autor.

Figura 73 - Prancha painéis L3 e L8



L3
ESC: 1 : 20
Diretriz 5.2



L8
ESC: 1 : 20
Diretriz 5.2

NOTAS:

- 1 - Nota
- 2 - Nota
- 3 - Nota
- 4 - Nota
- 5 - Nota
- 6 - Nota ← Diretriz 5.6
- 7 - Nota

QUANTITATIVO PAINEL "X"

Espaçador cadelirinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Telo)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

QUANTITATIVO PAINEL "X"

Espaçador cadelirinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Telo)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

LEGENDA

	CL - Caixa de Luz
	Furação para Hidráulica
	Eletroduto 32mm
	Eletroduto 25mm
	PLE - Ponto de Ligação de Eletroduto
	PDE - Ponto de Descida de Eletroduto
	PSE - Ponto de Subida de Eletroduto
	DI - Dispositivo de Içamento

LOGOMARCA

Responsável Técnico: _____ PROP.: _____ DATA: _____ TÍTULO: PROJETO LMPM FL: _____

OBRA: _____ REV: _____ PRANCHA: _____

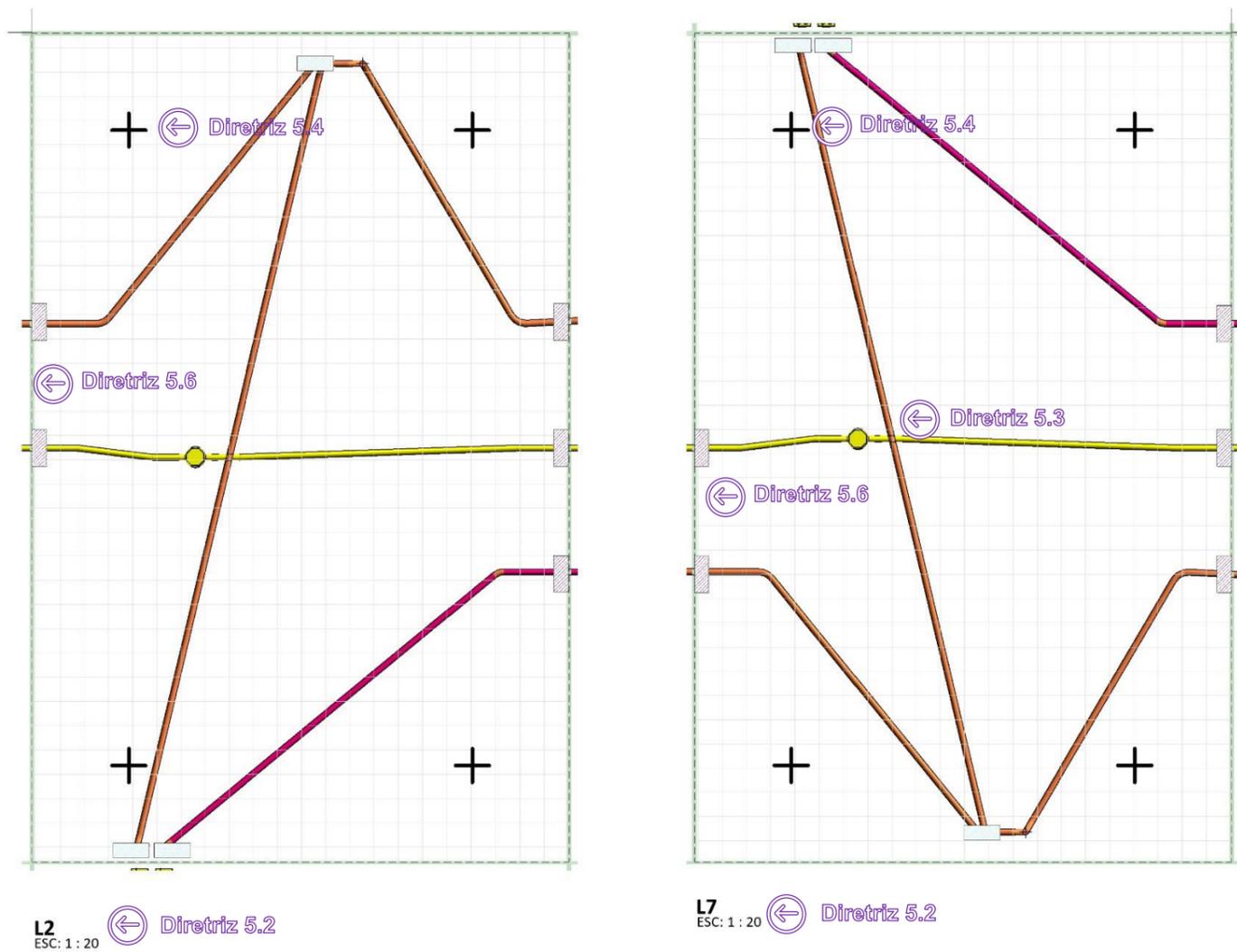
LOCAL: _____ LAJE L3 E L8 07/10

Fonte: Autor.

Diretriz 5.1

Diretriz 5.1

Figura 74 - Prancha painéis L2 e L7



NOTAS:

- 1 - Nota
- 2 - Nota
- 3 - Nota
- 4 - Nota
- 5 - Nota
- 6 - Nota
- 7 - Nota

QUANTITATIVO PAINEL "X"

Espaçador cadelrinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Teto)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

QUANTITATIVO PAINEL "X"

Espaçador cadelrinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Teto)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

LEGENDA

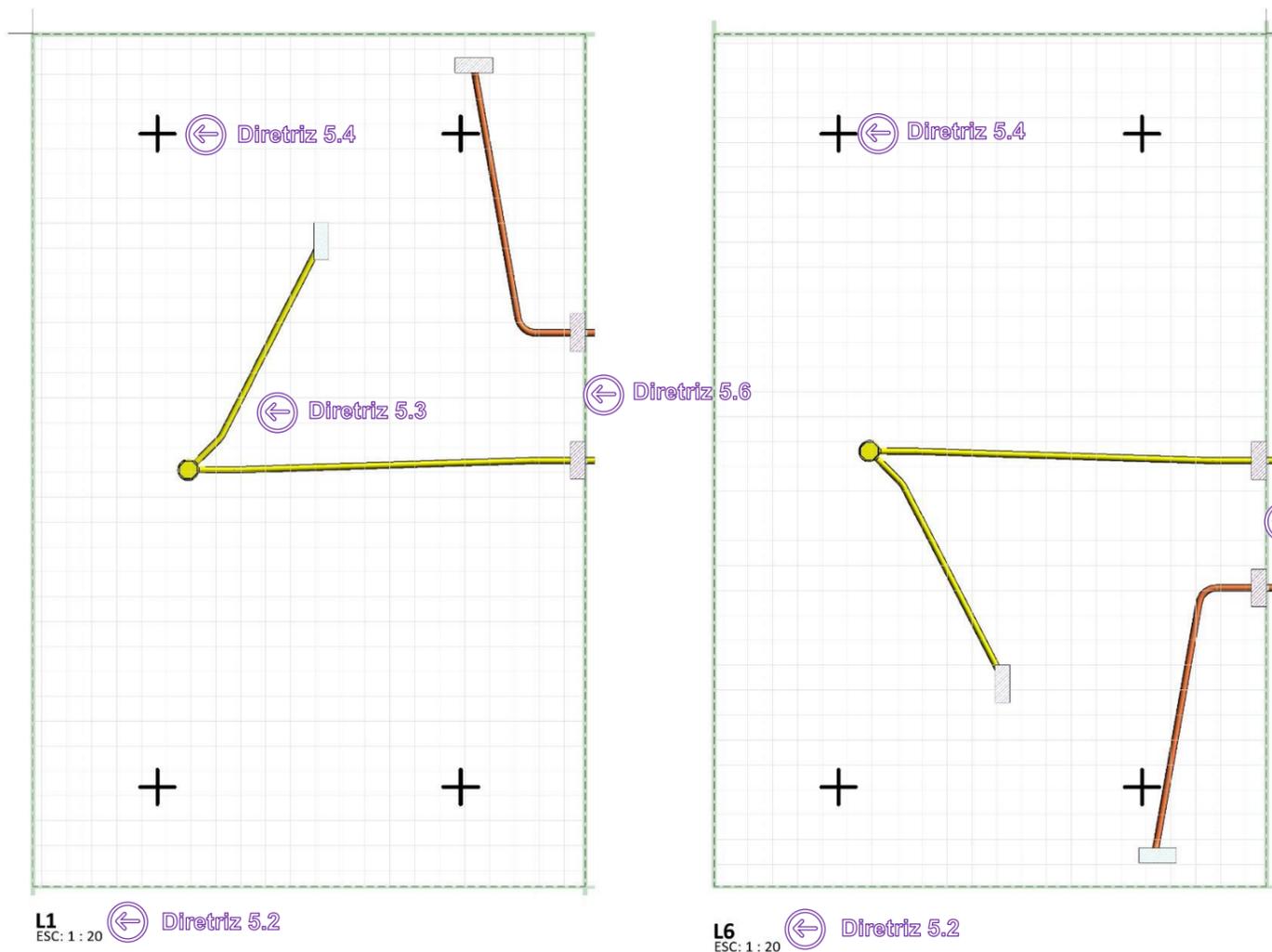
	CL - Caixa de Luz
	Furação para Hidráulica
	Eletroduto 32mm
	Eletroduto 25mm
	PLE - Ponto de Ligação de Eletroduto
	PDE - Ponto de Descida de Eletroduto
	PSE - Ponto de Subida de Eletroduto
	DI - Dispositivo de Içamento

Responsável Técnico: _____ PROP.: _____ DATA: _____ TÍTULO: PROJETO LMPM FL: _____
 LOGOMARCA OBRA: _____ REV: _____ PRANCHA: _____
 LOCAL: _____ LAJE L2 E L7 08/10

Fonte: Autor.

DIRETRIZ 5.1
 DIRETRIZ 5.1

Figura 75 - Prancha painéis L1 e L6



- NOTAS:**
- 1 - Nota
 - 2 - Nota
 - 3 - Nota
 - 4 - Nota
 - 5 - Nota
 - 6 - Nota
 - 7 - Nota

QUANTITATIVO PAINEL "X"

Espaçador cadelirinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Teto)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

QUANTITATIVO PAINEL "X"

Espaçador cadelirinha tipo Torre 15mm	XX und
Espaçador superior tipo Garra 75 mm	XX und
Lona plástica preta 200 micras	XX m2
Concreto fck= XX Mpa Slump 20cm	XX m3
Gancho em aço dobrado (ver detalhe)	XX und
Malha de aço Ø6,3 c/10	XX m2
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Laranja Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Amarelo Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Azul Ø= XX mm	XX m
Eletroduto Flexível Corrugado Reforçado Preto Ø= XX mm	XX m
Caixa de Luz (Teto)	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PLE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PDE	XX und
Bloco de EPS medindo 15x6x5cm para PSE	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 150 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 100 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 75 mm C=9cm	XX und
Corte de Tubo de PVC esgolo 50 mm C=9cm	XX und

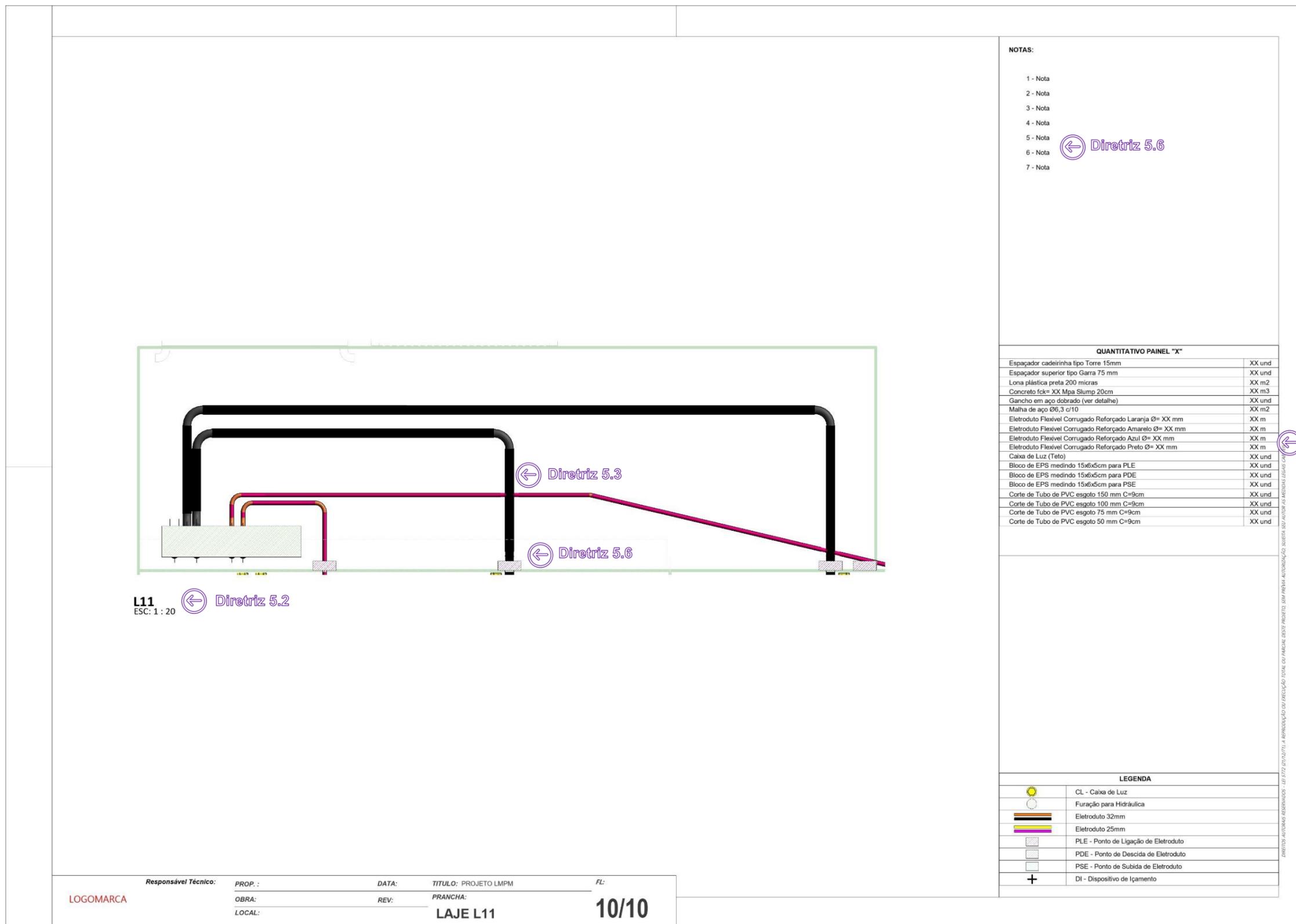
LEGENDA

	CL - Caixa de Luz
	Furação para Hidráulica
	Eletroduto 32mm
	Eletroduto 25mm
	PLE - Ponto de Ligação de Eletroduto
	PDE - Ponto de Descida de Eletroduto
	PSE - Ponto de Subida de Eletroduto
	DI - Dispositivo de Içamento

Responsável Técnico: _____ PROP.: _____ DATA: _____ TÍTULO: PROJETO LMPM FL: _____
 LOGOMARCA OBRA: _____ REV: _____ PRANCHA: _____
 LOCAL: _____ LAJE L1 E L6 09/10

Fonte: Autor.

Figura 76 - Prancha painéis L11



Fonte: Autor.

6 CONCLUSÃO

Neste item serão relatadas as principais conclusões deste estudo, identificando as conclusões gerais do trabalho, além de apresentar as sugestões para trabalhos futuros.

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos autores relatam os baixos índices de industrialização na construção civil, afetando diretamente a produtividade da Indústria da Construção Civil. Assim, o estudo também identificou a produção de lajes como uma etapa sensível no que diz respeito ao desperdício de materiais, tempo e ergonomia.

Assim, este trabalho teve como principal motivação as dificuldades relatadas por gestores de se encontrar uma alternativa viável para produção de LMPM, principalmente em obras de pequeno e médio porte. Essas obras enfrentam algumas dificuldades em viabilizar o uso do sistema, principalmente devido aos custos fixos dos jogos de forma. Neste sentido, a padronização dos painéis auxilia na diluição destes custos, além de permitir o reaproveitamento para obras futuras. Ademais, a produção *in loco*, seguindo diretrizes pré-estabelecidas e um projeto de produção compatibilizado com os demais projetos complementares da edificação, permite um processo de produção similar a uma fábrica de média mecanização. Além disso, esse sistema permite e exige um maior planejamento e controle, sendo similar a produção dos pré-fabricados *Engineer-to-order (ETO)*.

O objetivo desta pesquisa consistiu em elaborar um conjunto de diretrizes para padronizar a elaboração de Projeto para Produção de LMPM, considerando a definição de painéis padrões (considerando, ao mínimo, painéis de largura fixa ou padronizada), com ênfase na definição e apresentação de detalhes executivos fundamentais para a eficiência e viabilidade do uso deste sistema. Para isso, o estudo se balizou em: uma revisão bibliográfica, entrevistas com especialistas e um estudo de campo.

A revisão bibliográfica contribuiu com o aprendizado das técnicas de produção de pré-fabricados já utilizadas no mercado, bem como as principais abordagens as quais estão submetidos. Além disso, também contribuiu com as técnicas e abordagens do “projeto enxuto”, a fim de se reduzir desperdícios dos projetos e sistemas construtivos, e contribuiu com os conceitos de projeto para produção, considerados por diversos autores, como uma ferramenta de gestão capaz de aumentar a eficiência da produção.

A entrevista com os gestores da fábrica de lajes contribuiu com informações de movimentação e transporte de peças de concreto pré-moldado. Nesta oportunidade, os gestores alertaram para as dimensões máximas para uma possível colocação dos painéis em

carrocerias de caminhões convencionais, bem como a distância máxima de içamento utilizando os caminhões do tipo “Munk”, que seriam de mais fácil acesso. Além disso, proporcionou também informações como tempo de cura que se utilizava para a desforma e transporte das peças que fabricavam. Por fim, forneceu uma base de dados com registros de vendas de lajes, contendo as dimensões dos ambientes e as datas das vendas, em que se pode observar as dimensões mais comuns encontradas nessas obras.

A entrevista com o gestor de obras contribuiu com informações sobre o pátio de concretagem, esquadro das formas, isolamento de painéis e nivelamento das canaletas de respaldo. Nesta oportunidade, o gestor alertou para a importância de se executar um piso da pista de concretagem resistente e nivelado. Além disso, foi relatada uma dificuldade que os trabalhadores enfrentavam na etapa de montagem das formas para garantir o esquadro das peças. Ademais, foi informado que a utilização de lona plástica para o isolamento dos painéis facilitava o deslocamento. E por fim, alertou-se para a importância do nivelamento das canaletas de respaldo da alvenaria, que poderia refletir no nível dos painéis.

Já o estudo de campo contribuiu com os eventos observados, que foram divididos em duas etapas: a de produção e a de montagem. Na etapa de produção observou-se a dificuldade de se instalar as caixas de teto na porção inferior ao nicho. Além disso, identificou-se a dificuldade de se realizar o esquadro devido ao sistema de ligação, e pode-se testar duas formas diferentes de se realizar essa ligação dos perfis das formas. Por outro lado, na etapa de montagem, foram observados alguns pontos importantes como: a baixa qualidade de acabamento inferior de alguns painéis, a quebra de um painel, as dimensões da alça do DI, dificuldade de deslocamento nos painéis isolados com desmoldante. Assim, algumas alterações de projeto e de execução foram adotadas para sanar os problemas identificados, como: a mudança do sistema de isolamento dos painéis e as dimensões da alça de içamento.

O primeiro objetivo específico deste trabalho consistiu em definir o melhor sistema de formas para atender as diversas dimensões e disposição de instalações. Para isso, inicialmente propôs-se um modelo que fora utilizado no estudo de campo, este baseado em outros modelos já utilizados, encontrados na revisão bibliográfica. Assim, como no estudo de campo havia três ciclos de produção e montagem de painéis de LMPM idênticos, pode-se identificar alguns pontos sensíveis do sistema e, com isso, realizar alterações a fim de aprimorá-los. Ao final do terceiro ciclo de aprendizagem, as informações de campo foram reunidas para elaboração de um projeto para produção do sistema de formas mais adequado.

O segundo objetivo específico consistiu em definir o melhor dispositivo de içamento para os painéis. Para isso, foram identificados os sistemas já utilizados e sugeridos na revisão bibliográfica. Nesse caso, foram encontrados somente dois sistemas distintos utilizados em LMPM: “Dispositivo com laço interno” e “Dispositivo especial para levantamento lateral”. O uso do “Dispositivo especial para levantamento lateral” dificulta a ligação entre os painéis,

portanto, recomendou-se o uso do “Dispositivo com laço interno” que, ao logo do estudo de campo, foi aprimorado quanto às dimensões do bloco de isopor para passagem do gancho do guindaste.

O terceiro objetivo específico consistiu em definir o melhor sistema de ligação entre os painéis de LMPM. Para isso, foi identificado na literatura o sistema de ligação por nicho, em que este era grauteado posteriormente a armadura de costura. Porém, no sistema identificado, o nicho era localizado somente no centro do painel, na região de maior acúmulo de tensões. Neste trabalho, adotou-se o nicho em toda a extensão longitudinal do painel de LMPM, pois, permitia a adoção da “laje zero”, ou seja, sem a execução de contrapiso. Além disso, permitia uma maior flexibilidade das ligações de eletroduto e estrutural, pois em casos em que haja balanço ou vãos maiores, as tensões estariam mais distribuídas.

O quarto e último objetivo específico deste trabalho consistiu em definir a melhor disposição para ligação das tubulações elétricas. Para isso, foram identificados os sistemas já apontados na literatura, e, no estudo de campo, realizaram-se algumas adaptações, de acordo com as experiências observadas nos ciclos de aprendizagem. Na literatura foram observados dois sistemas de ligação: utilizando blocos de isopor e outro com a introdução nas formas do nicho. Com as experiências observadas no estudo de campo, adotou-se somente o uso de blocos de isopor, pois permitia maior flexibilidade de diâmetros de eletrodutos e isolava a penetração do concreto.

Neste contexto, este trabalho demonstrou a aplicabilidade do conceito de Projeto para Produção de painéis padronizados de LMPM, com ênfase na proposição de diretrizes para a padronização da sua elaboração, baseada na junção de conceitos encontrados na literatura, experiências relatadas por profissionais e na observação de um estudo de campo, por meio de uma pesquisa-ação, a fim de se encontrar os meios mais eficientes de produção.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São sugeridos os seguintes temas para trabalhos futuros:

- a) Aplicação dos princípios da *Lean Construction* em obras com uso de painéis padronizados de LMPM;
- b) Aplicação do Projeto para Produção em obras de maior escala;
- c) Uso da plataforma BIM para parametrização de projetos de painéis padronizados de LMPM;
- d) Uso da plataforma BIM para *Clash Detection* em interfaces de projeto de painéis padronizados de LMPM;
- e) Aplicação do *Cutting Stock Problem* para aprimoramento da paginação de painéis no pavimento.

f) Avaliação da produtividade e dos custos do sistema LMPM.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, S.; SOETANTO, R.; GOODIER, C. Lean approach in precast concrete component production. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 9, n. 3, p. 457–470, 2019.
- ALARCÓN, L. **Lean Construction**. Rotterdam: Taylor e Francis, 1997.
- AQUINO, J. P. R. DE; MELHADO, S. B. **PERSPECTIVAS DA UTILIZAÇÃO GENERALIZADA DE PROJETOS PARA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**. WORKSHOP NACIONAL: GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS. **Anais...**São Carlos: EESC/USP, 2001
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, RJ, 2017.
- BALLARD, G.; HARPER, N.; ZABELLE, T. Learning to see work flow: An application of lean concepts to precast concrete fabrication. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 10, n. 1, p. 6–14, 2003.
- BATAGLIN, F. S. **Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados Engineer-to-order**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2017.
- CARVALHO, L. C.; PALIARI, J. C. **CONDIÇÕES ERGÔNICAS NO SERVIÇO DE CONCRETAGEM DE LAJE MACIÇA DE CONCRETO**. 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. **Anais...**Fortaleza-CE, 2017.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. **Roteiro para Revisão Bibliográfica Sistemática: Aplicação no Desenvolvimento de Produtos e Gerenciamento de Projetos**. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011. **Anais...**Porto Alegre-RS - Brasil: 8 Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP, 2011.
- DEFFENSE, J.; CACHADINHA, N. **Lean production in the precast concrete components' industry**. 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2011, IGLC 2011. **Anais...**Lima, Perú: Proceedings IGLC-19, 2011.
- EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2ª ed. ed. São Carlos, SP: EESC-USP, 2000.
- FORMOSO, C. T. *et al.* Material waste in building industry: Main causes and prevention. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 4, p. 316–325, 2002.

- FREIRE, J.; ALARCÓN, L. F. Achieving Lean Design Process: Improvement Methodology. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 3, p. 248–256, jun. 2002.
- HANNA, A. S. *et al.* Modeling Project Manager Competency: An Integrated Mathematical Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 8, p. 04016029, 2016.
- HE, Q. *et al.* Identifying the gaps in project success research: A mixed bibliographic and bibliometric analysis. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 8, p. 1553–1573, 2019.
- HEVNER, A. R. A Three Cycle View of Design Science Research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 2, p. 87-92, 2007.
- HÖÖK, M.; STEHN, L. **Lean principles in industrialized housing production: the need for a cultural change**. p. 20-33, 2008.
- HOSSEINI, M. R. *et al.* Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis. **Automation in Construction**, v. 87, n. July 2017, p. 235–247, 2018.
- IBRAHIM, M.; HANNA, A.; KIEVET, D. **Comparative Analysis between Project Delivery Systems through Quantitative Assessment of Project Performance**. Construction Research Congress 2018. **Anais...**Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2018.
- IBRAHIM, M. W. *et al.* A framework of five-stream production system for megaprojects. **IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, p. 729–736, 2017.
- IBRAHIM, M. W. *et al.* Quantitative Analysis of the Impacts of Out-of-Sequence Work on Project Performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 8, p. 04020090, 2020.
- KANTOROVICH, L. V. Mathematical Methods of Organizing and Planning Production. **Management Science**, v. 6, n. 4, p. 366–422, 1960.
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, EUA, CIFE, Technical Report No 72, 1992.
- LEE, D. *et al.* Advanced planning model of formwork layout for productivity improvement in high-rise building construction. **Automation in Construction**, v. 85, p. 232–240, 2018.
- LIM, J. *et al.* Cost reduction effects of in-situ PC production for heavily loaded long-span buildings. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 19, n. 3, p. 242–253, 2020.
- MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 457–462, 2014.
- MELHADO, S. B.; FABRICIO, M. M. Projetos da Produção e Projetos para Produção na Construção de Edifícios: discussão e síntese de conceitos. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO.**, v. 8, p. 731–737, 1998.
- MELHADO, S.; HENRY, E.; SEGNINI, F. Uma perspectiva comparativa da gestão de projetos de edificações no Brasil e na França. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 1, n. 1, p. 1-22, 2006.

MELLO, L. C. B. DE B.; AMORIM, S. R. L. DE. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Production**, v. 19, n. 2, p. 388–399, 2009.

MELO, C. E. E. **Manual Munte de Projetos em Pré-fabricados de Concreto**. 2. ed. São Paulo, SP: PINI, 2007.

MIKALDO JR, J.; SCHEER, S. Compatibilização De Projetos Ou Engenharia Simultânea: Qual É a Melhor Solução? **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 3, n. 1, 2008.

MINAYHASHEMI, S. M. A. *et al.* Automated rigging design for heavy industrial lifts. **Automation in Construction**, v. 112, p. 103083, 2020.

MOHAMMADI, S. *et al.* **Optimizing the Selection and Layout of Table Forms with Different Dimensions Using BIM and Integer Programming**. Construction Research Congress 2016. **Anais...ASCE**, 2016.

NBR-NM-33. NBR NM 33: Concreto - Amostragem de concreto fresco. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1994.

OLHAGER, J. Strategic positioning of the order penetration point. **International Journal of Production Economics**, v. 85, n. 3, p. 319–329, 2003.

PRATA, B. DE A.; PITOMBEIRA-NETO, A. R.; SALES, C. J. DE M. An Integer Linear Programming Model for the Multiperiod Production Planning of Precast Concrete Beams. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, 2015.

QUAGLIO, J. DE P. **Produção em escala da Habitação e Racionalização de Canteiros de Obras**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo - USP, 2018.

RAY, B.; RIPLEY, P.; NEAL, N. Y. D. Lean Manufacturing A Systematic Approach to Improving Productivity in the Precast Concrete Industry. **PCI Journal**, n. January-February, p. 62–71, 2006.

RECK, R. H. *et al.* Diretrizes para a definição de lotes de montagem de sistemas pré-fabricados de concreto do tipo engineer-to-order. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 105–127, 2020.

RODRIGUES, M. B. Diretrizes Para a Integração Dos Requisitos De Construtibilidade Ao Processo De Desenvolvimento De Produtos De Obras Repetitivas. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFRGS, Porto Alegre, 2005.

SETIA, P.; PATEL, P. C. How information systems help create OM capabilities: Consequents and antecedents of operational absorptive capacity. **Journal of Operations Management**, v. 31, n. 6, p. 409–431, 2013.

SHINGO, S. **Sistema Toyota De Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 1996.

SILVA, J. G. DA; MOURA, M. L. DE; CAMPOS JUNIOR, D. J. ANÁLISE TÉCNICA DE LAJES MACIÇAS PRÉ-MOLDADAS DO TIPO IÇADA APLICADAS EM EDIFICAÇÕES DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, n. 1, p. 369–383, 2012.

SILVA, R. R. O.; PALIARI, J. C. **DIAGNÓSTICO EXPLORATÓRIO SOBRE PARÂMETROS PARA MODULARIZAÇÃO DE LAJES MACIÇAS PRÉ-FABRICADAS: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS**. Anais...ANTAC, 2021.

SILVIO BURRATTINO MELHADO. **Qualidade do Projeto na Construção de Edifícios: Aplicação ao Caso das Empresas de Incorporação e Construção**. Tese de Doutorado—São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial, reissue of the third edition with a new introduction by John Laird**. Londres: MIT, 2019.

SINGH, J.; DENG, M.; CHENG, J. C. P. Implementation of mass customization for MEP layout design to reduce manufacturing cost in one-off projects. **IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers**, v. 1, p. 625–635, 2018.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNNTON, R. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOTOMAYOR, C. R. G. **GERENCIAMENTO E GESTÃO DA IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA CENTRAL DE PRÉ-MOLDADOS EM OBRA DE EDIFICAÇÕES: ESTUDO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS**. Rio de Janeiro: Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) I, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

TEICHOLZ, P. Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies (a second look). **AECbytes Viewpoint**, 2013.

TEIXEIRA, C. A.; MARTINELLI, R. B.; GUIMARÃES, R. J. **Análise do Processo Construtivo com laje içada**. VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Anais..., Ponta Grossa, 2016.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. 1. ed., São Paulo: Cortez, 1986.

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

VIVAN, A. **PROJETOS PARA PRODUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES EM LIGHT STEEL FRAMING**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de pós-graduação em estruturas e construção civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

WANG, C. *et al.* Causes and Penalties of Variation: Case Study of a Precast Concrete Slab Production Facility. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 6, p. 775–785, 2012.

WANG, Q. *et al.* Labor crew workspace analysis for prefabricated assemblies' installation: A 4D-BIM-based approach. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 3, p. 374–411, 2018.

WANG, S. *et al.* Research on production process optimization of precast concrete component factory based on value stream mapping. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 4, p. 850–871, 2019.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 10. ed., São Paulo, SP: Campus, 2001.

YI, W.; CHAN, A. P. C. Critical Review of Labor Productivity Research in Construction Journals. **Journal of Management in Engineering**, v. 30, n. 2, p. 214–225, 2014.

ZHENG, C.; YI, C.; LU, M. Integrated optimization of rebar detailing design and installation planning for waste reduction and productivity improvement. **Automation in Construction**, v. 101, p. 32–47, 2019.

