

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Maurício Graef Hartmann

**VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE DOIS SISTEMAS
DE VEDAÇÃO DE FACHADAS: BLOCOS CERÂMICOS E
PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE
CONCRETO (PPAC)**

Porto Alegre
dezembro 2018

MAURÍCIO GRAEF HARTMANN

**VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE DOIS SISTEMAS
DE VEDAÇÃO DE FACHADAS: BLOCOS CERÂMICOS E
PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE
CONCRETO (PPAC)**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero
Coorientadora: Raquel Hoffmann Reck

Porto Alegre
dezembro 2018

MAURÍCIO GRAEF HARTMANN

**VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE DOIS SISTEMAS
DE VEDAÇÃO DE FACHADAS: BLOCOS CERÂMICOS E
PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE
CONCRETO (PPAC)**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II – Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2018

Profa. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Raquel Hoffmann Reck
Mestre pela UFRGS
Coorientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Luiz Carlos Carini Medeiros
Eng. Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Raquel Hoffmann Reck
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aos meus pais e avós, que ao longo de suas vidas não mediram esforços para proporcionarem as condições necessárias à minha chegada até aqui.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível devido ao esforço de todos aqueles cidadãos que de alguma forma contribuíram para que as universidades públicas, aqui representadas pela UFRGS, mantivessem o seu ensino de qualidade. Sou muito grato a todos vocês.

À professora Angela Borges Masuero, orientadora deste trabalho, por toda a disponibilidade e conhecimentos trocados. E acima de tudo, pela grande vocação ao apoio, diálogo e instrução mesmo nos momentos em que as dificuldades foram além de questões de engenharia.

À Raquel, por aceitar o convite de ser coorientadora deste trabalho, contribuindo tão positivamente para o seu desenvolvimento. Muito obrigado pelos conhecimentos passados.

Ao engenheiro Luiz Medeiros, responsável pelo desenvolvimento deste trabalho, e mentor da minha formação profissional. Muito obrigado por toda a experiência que me passaste.

A todo o pessoal do NORIE, que me acolheu durante o período em que fui bolsista de iniciação científica, quando pude fazer grandes amizades e entender o real significado de trabalho em equipe.

À Elisa, minha namorada e grande companheira, por dividir comigo a vida e tantas experiências boas ao longo destes anos. É um prazer enorme te ter ao meu lado.

Aos meus amigos: àqueles todos os quais tenho certeza de que ao lerem esta mensagem se identificarão. Vocês foram os responsáveis por suprir a distância da família nesta caminhada que foi a graduação. Muito obrigado por todos os momentos, levo vocês sempre comigo.

A toda minha família, em especial a meus pais, minha irmã, meus avós e minha dinda. Essa conquista é também de vocês e fica difícil expressar em texto o que vocês representam para mim. Laura, tu és a minha melhor amiga; obrigado por dividir comigo não só o apartamento nestes seis anos, mas a experiência de vida de ter alguém com quem se possa contar para tudo. Mãe, apesar da distância e saudade, te tenho sempre no meu coração; não tenho palavras para agradecer o amor, preocupação e conselhos ao longo de toda a vida. Te admiro demais. Pai, desde pequeno sonhava em ser engenheiro civil por me espelhar no teu trabalho. Tu és incrível; uma grande fonte de inspiração para mim. Almejo ser uma pessoa tão boa quanto tu em todos os sentidos possíveis.

RESUMO

Embora o mercado da construção civil exija cada vez mais que se utilizem sistemas construtivos inovadores capazes de desempenhar as exigências dos mais complexos projetos de edificações, no Brasil ainda é consenso que as metodologias tradicionais, caracterizadas pelo elevado número de etapas realizadas no canteiro de obras, são as mais adotadas na grande maioria das construções. No que se refere às vedações de fachada, a tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) figura como uma excelente alternativa em substituição aos blocos cerâmicos revestidos por argamassa, visto que tende a eliminar questões como perdas materiais, imprevistos na execução, incompatibilidade de projetos, atrasos na entrega, entre outros. Apesar das vantagens citadas, o que se percebe é que, principalmente em edificações residenciais, a sua utilização ainda não é muito disseminada, o que faz com que poucos profissionais da área conheçam as alterações que irão ocorrer no planejamento e na execução de uma obra com determinada tecnologia, bem como os diferenciais de custos envolvidos na aplicação deste sistema. Assim, o presente trabalho analisa comparativamente uma vedação de fachada com blocos cerâmicos revestidos de argamassa e outra com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto através de um estudo de viabilidade de aplicação elaborado para um edifício residencial ainda na fase que antecede a sua execução. O estudo envolve aspectos de projeto, execução, planejamento e estimativas de prazos e custos, e também logística de canteiro de obras, a fins de fornecer diretrizes para a correta análise na hora de escolher qual sistema de vedação de fachada utilizar em um empreendimento. Os dados e informações utilizados neste trabalho foram retirados de referenciais teóricos e experiências práticas vividas pelo aluno no setor de execução de obras. Ao final do estudo, foi possível observar que nenhum dos sistemas de vedação se mostrou vantajoso em todos os aspectos considerados. Os PPAC, embora potencialmente mais caros, apresentaram significativa capacidade de reduzir os prazos de execução, tornando-se uma tecnologia viável a ser empregada desde que se tenha um planejamento adequado dos diversos setores envolvidos em sua aplicação.

Palavras-chave: Vedações de fachada. Painéis Pré-fabricados Arquitetônicos de Concreto. Blocos cerâmicos. Estimativas de prazos e custos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delineamento das etapas de pesquisa	19
Figura 2 - Localização da base e torre do empreendimento em relação ao terreno	40
Figura 3 – Representação esquemática da fachada oeste do empreendimento	41
Figura 4 – Representação esquemática da fachada sul do empreendimento	41
Figura 5 - Trecho da linha de balanço elaborada com divisão qualitativa de equipes	44
Figura 6 – Vista interna do levantamento de alvenaria e colocação de contramarcos em aberturas.....	46
Figura 7 - Posicionamento de balancins para execução de revestimento após concluído levantamento da alvenaria	46
Figura 8 - Preparo da superfície da fachada para revestimento externo com andaime suspenso	47
Figura 9 - Fachada revestida e detalhamento de peitoril já instalado.....	47
Figura 10 - Vínculo adotado entre término da supraestrutura e início da alvenaria de vedação	48
Figura 11 - Setorização de andaimes suspensos para vedação da fachada do empreendimento	49
Figura 12 - Face externa de PPAC com acabamento desejado	53
Figura 13 - Face interna de PPAC com contramarco colocado.....	53
Figura 14 – Estrutura metálica para posterior revestimento interno de painéis com placas de gesso acartonado.....	54
Figura 15 - Paginação de PPAC elaborada para estimar a quantidade de painéis necessária para vedar a edificação	56
Figura 16 - Posicionamento e tamanho da lança previsto para a grua	56
Figura 17 - Detalhe genérico de paredes de alvenaria da fachada do empreendimento com e sem presença de vãos (medidas em centímetros)	61
Figura 18 - Detalhe genérico de especificações da fachada	62
Figura 19 - Detalhe genérico do acabamento da platibanda da periferia da laje da cobertura no sistema de vedação com PPAC	69
Figura 20 - Trecho de fachada com indicação dos setores utilizados na extração de quantitativos	70
Figura 21 - Planta baixa de localização do empreendimento	77
Figura 22 - Layout do canteiro de obras do pavimento térreo para a execução do sistema de vedação tradicional	78
Figura 23 - Layout do canteiro de obras do segundo pavimento para a execução do sistema de vedação tradicional	79
Figura 24 - Layout do canteiro de obras do terceiro pavimento para a execução do sistema de vedação tradicional	79

Figura 25 - Layout do canteiro de obras do pavimento térreo para a execução do sistema de vedação com PPAC	81
Figura 26 - Layout do canteiro de obras do terceiro pavimento para a execução do sistema de vedação com PPAC	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo do impacto de fatores no custo final dos sistemas de vedação e revestimento	36
Quadro 2 - Resumo comparativo dos aspectos gerais dos sistemas de vedação	38
Quadro 3 - Sequência de troca de posições de andaimes suspensos	50
Quadro 4 - Representação do prazo de execução da fachada.....	50
Quadro 5 - Comparativo de procedimentos e estimativas de prazos de execução do empreendimento com ambos os sistemas de vedação de fachadas	58
Quadro 6 - Composição de custos unitários para o serviço de alvenaria de blocos cerâmicos (base: SINAPI 2018)	62
Quadro 7 - Composição de custos unitários para colocação de contravergas (base: SINAPI 2018).....	63
Quadro 8 - Composição de custos unitários para fabricação, colocação e chumbação de contramarcos (base: práticas locais de 2018)	63
Quadro 9 - Composição de custos unitários para os serviços de chapisco e reboco interno (base: SINAPI 2018)	63
Quadro 10 - Composição de custos unitários para os serviços de chapisco e reboco externo (base: SINAPI 2018)	64
Quadro 11 - Composição de custos unitários para o serviço de colocação de peitoris (base: SINAPI 2018).....	64
Quadro 12 - Composição de custos unitários para o serviço de pintura externa na fachada (base: SINAPI 2018)	64
Quadro 13 - Composição de custos unitários para o serviço de colocação de molduras em EPS na fachada (base: práticas locais de 2018).....	64
Quadro 14 - Resumo dos serviços realizados externamente na fachada e seus respectivos períodos de duração	65
Quadro 15 - Composição de custos para o serviço de montagens e desmontagens de andaimes suspensos (base: práticas locais de 2018).....	66
Quadro 16 - Composição de custos unitários para o serviço de gesso acartonado realizado no lado interno do painel de fachada (base: SINAPI 2018)	67
Quadro 17 - Composição de custos unitários para o serviço de compartimentação entre pavimentos realizados no perímetro da fachada (base: SINAPI 2018).....	67
Quadro 18 - Composição de custos unitários para os serviços de instalação e operação da grua utilizada para o içamento e montagem dos PPAC (base: SINAPI e práticas locais de 2018)..	68
Quadro 19 - Composição de custos unitários para os serviços de elevador cremalheira (base: práticas locais de 2018)	71
Quadro 20 - Quadro resumo dos custos diretos de construção dos sistemas de vedação.....	72
Quadro 21 - Cálculo das perdas materiais de blocos cerâmicos e argamassa industrializada do sistema tradicional	74

Quadro 22 - Estimativa de custos com descarte de resíduos de blocos cerâmicos e argamassa	74
Quadro 23 - Resumo comparativo geral de resultados e aspectos observados	86

LISTA DE SIGLAS

PPAC – Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto

NBR – Norma Brasileira

SVVE – Sistema de Vedação Vertical Externo

TCPO – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos

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

INCC – Índice Nacional de Custo da Construção

BIM – *Building Information Model*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo principal.....	16
2.2.2 Objetivos secundários	16
2.3 HIPÓTESE	17
2.4 DELIMITAÇÕES.....	17
2.5 LIMITAÇÕES	17
2.6 DELINEAMENTO.....	17
3 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL	20
3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL.....	20
3.2 ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM BLOCOS CERÂMICOS.....	21
3.2.1 Componentes e cenário	22
3.2.2 Aspectos de projeto.....	24
3.2.3 Aspectos de execução.....	25
3.2.4 Planejamento e logística de canteiro de obras	27
3.3 VEDAÇÃO COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO (PPAC).....	28
3.3.1 Componentes e cenário	28
3.3.2 Aspectos de projeto.....	30
3.3.3 Aspectos de execução.....	31
3.3.4 Planejamento e logística de canteiro de obras	34
3.4 ASPECTOS RELEVANTES DE CUSTOS.....	35
3.5 RESUMO COMPARATIVO DE ASPECTOS GERAIS	38
4 ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	39
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	39
4.2 PLANEJAMENTO E ESTIMATIVA DE PRAZO DE EXECUÇÃO	42
4.2.1 Vedação tradicional com blocos cerâmicos	45
4.2.2 Vedação com Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto.....	52
4.3 ESTIMATIVA DE CUSTOS	59
4.3.1 Custos diretos de construção	59
4.3.1.1 Composição de custos diretos do sistema de vedação tradicional com blocos cerâmicos	60

4.3.1.2 Composição de custos diretos do sistema de vedação com Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto	66
4.3.1.3 Comparativo dos custos diretos totais de construção	69
4.3.2 Custos indiretos de construção	72
4.4 LOGÍSTICA E <i>LAYOUT</i> DO CANTEIRO DE OBRAS	75
4.4.1 Vedação tradicional com blocos cerâmicos	76
4.4.2 Vedação com Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto.....	80
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS	87
APÊNDICE A – LINHA DE BALANÇO DO PLANEJAMENTO FÍSICO DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO COM A FACHADA DE ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS	90
APÊNDICE B – LINHA DE BALANÇO DO PLANEJAMENTO FÍSICO DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO COM A FACHADA DE PPAC.....	91
APÊNDICE C – TABELAS DE EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS DE MATERIAIS E MÃO DE OBRA NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DA FACHADA DO EMPREENDIMENTO	92
APÊNDICE D – CUSTOS DIRETOS TOTAIS DE CONSTRUÇÃO DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO DE FACHADA CONVENCIONAL E PPAC.....	93

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem notável papel na economia do país, seja pela demanda de mão-de-obra, pela representatividade na massa salarial ou pela taxa de crescimento econômico do Produto Interno Bruto (MANNESCHI, 2011). Os períodos de crise financeira e a saturação do mercado da construção fazem com que o cenário se torne cada vez mais competitivo. Em 2003, Silva já afirmava que mesmo tradicionalmente resistentes à modernização de seus processos de produção, as empresas construtoras brasileiras viam-se pressionadas a investir continuamente na melhoria e evolução de suas tecnologias como forma de garantir maior competitividade e sustentação no mercado.

Questões como perdas, atraso tecnológico, prazos, despreparo da mão-de-obra e não compatibilidade entre projeto e execução são problemas rotineiros alvos de constantes estudos que buscam alternativas para a sua eliminação ou minimização. Neste contexto, as vedações verticais passaram a ser apontadas pelos construtores como um dos principais gargalos tecnológicos da construção de edifícios, especialmente pela sua importância na introdução de novos materiais e sistemas construtivos (SILVA; SILVA, 2004).

A fachada ocupa uma posição de destaque na concepção de um edifício. Além de ser a parte principal para proteção das edificações frente aos agentes externos, ela é um componente estratégico para definir a valorização de um empreendimento, tendo participação considerável nos custos da obra (MEDEIROS *et al.*, 2014). O sistema industrializado de vedações proporciona tanto flexibilidade construtiva quanto compositiva, tornando possível a utilização de diferentes sistemas de acordo com as necessidades de projeto (BARTH; VEFAGO, 2007).

Ainda segundo Barth e Vefago (2007), mesmo os métodos tradicionais de produção mais evoluídos não conseguem atingir alguns benefícios proporcionados pela industrialização da construção, entre os quais se destacam a rapidez de execução, a redução de desperdícios na obra e a otimização do processo construtivo como um todo.

Em contrapartida, Rocha (2017) apresenta que a tecnologia predominante no cenário construtivo nacional para execução de fachadas é a alvenaria de vedação e revestimentos aderidos, em conjunto com as esquadrias. Para Barth e Vefago (2007), o uso de elementos

pré-fabricados ainda é muito restrito a edifícios industriais e comerciais, apontando uma estagnação no que se refere ao emprego de sistemas industrializados. De acordo com eles, a solidez das alvenarias, manifestada através do peso e robustez dos blocos, produz certas identificações com os usuários. Silva e Silva (2004) acreditam que esta seja uma barreira a ser transposta para a introdução de novos sistemas.

A decisão pela tecnologia a ser empregada nas vedações de fachada é geralmente tomada baseada em requisitos técnicos e de desempenho, e também de planejamento, custos e prazos de execução de obras (ROCHA, 2017). Desta forma, este trabalho visa entender os procedimentos envolvidos no planejamento de custos e execução dos sistemas de vedação de fachadas com blocos cerâmicos e painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC), e avaliar a viabilidade técnica e econômica de implantação de ambos em um edifício residencial de múltiplos pavimentos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes da pesquisa para desenvolvimento deste trabalho são descritas a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: a substituição da vedação de fachada em blocos cerâmicos revestidos por argamassa e acabados em pintura sobre massa de nivelamento texturizada por painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto com acabamento externo acoplado ao painel é viável técnica e economicamente em um edifício residencial de múltiplos pavimentos?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa que serão descritos a seguir estão classificados em principal e secundário.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a viabilidade de implantação do sistema de vedação de fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto em substituição ao sistema de blocos cerâmicos em um edifício residencial na cidade de Porto Alegre.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho consistem em comparar os dois sistemas de vedação de fachadas em relação aos aspectos gerais a seguir:

- a) aspectos de projeto;

- b) aspectos de planejamento e execução;
- c) logística de canteiro de obras;
- d) prazos de execução.
- e) custos.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é de que é viável substituir um sistema de vedação de fachadas com blocos cerâmicos por outro de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto atendendo satisfatoriamente as exigências dos usuários.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo da viabilidade técnica e econômica de implantação de um sistema de vedação de fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto em um edifício residencial de múltiplos pavimentos.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) avaliação da viabilidade para um edifício residencial de uma construtora da cidade de Porto Alegre;
- b) estudo realizado para apenas um tipo de painel pré-fabricado.
- c) o edifício residencial é composto por uma base e uma torre, sendo que este trabalho se limitou ao estudo da fachada da torre.

2.6 DELINEAMENTO

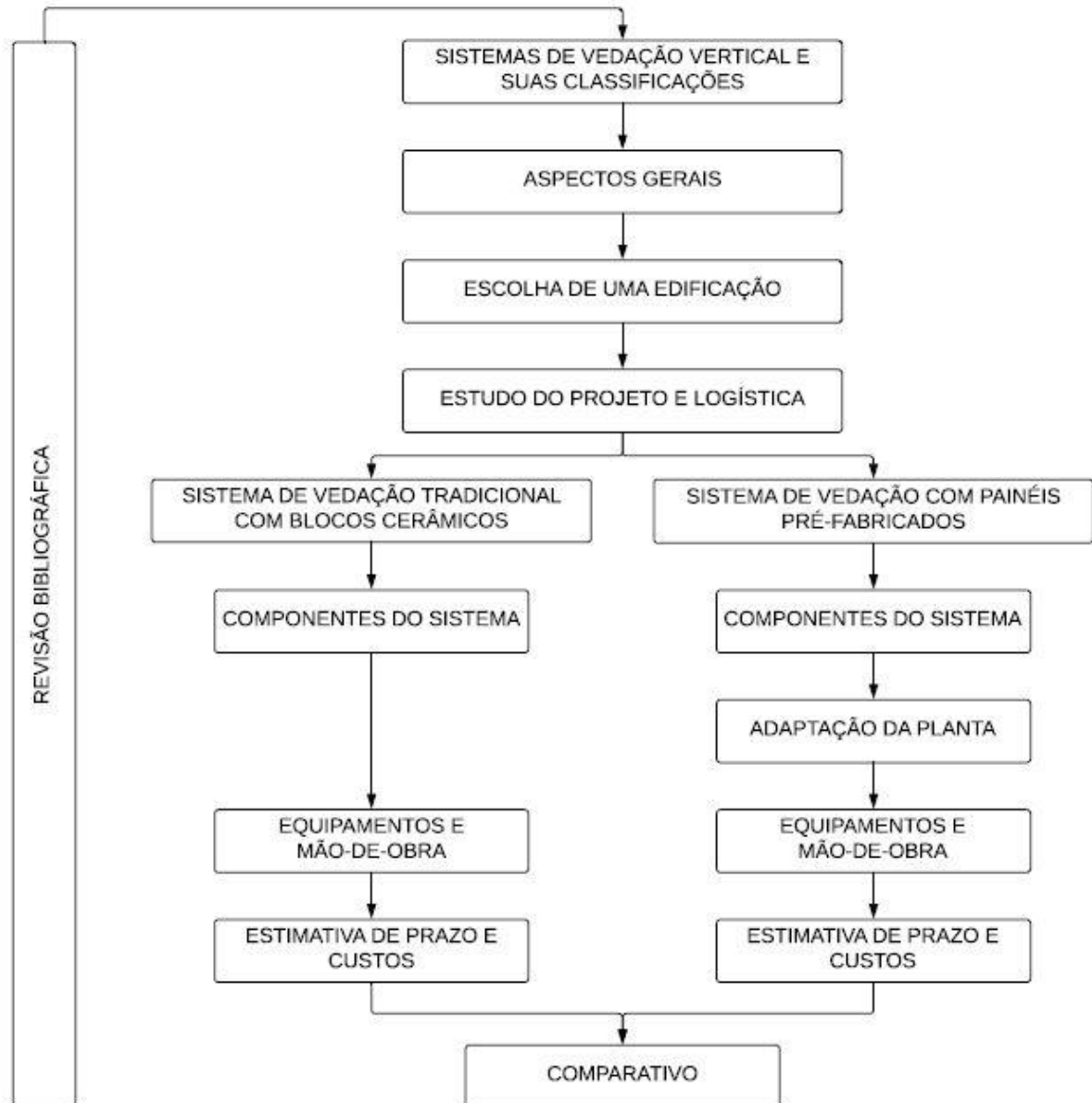
O trabalho deu início por meio de uma pesquisa bibliográfica sobre os sistemas de vedação vertical e suas classificações, a fins de identificar os componentes, principais características e diferenças entre os dois sistemas alvos deste estudo: vedação de fachada com blocos cerâmicos e com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC). Foram levantadas

informações relacionadas à posição no cenário atual de ambos os sistemas construtivos, bem como aspectos de projeto, planejamento, logística de canteiro de obras, execução, prazos e custos de ambos os sistemas. Esta etapa foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, visto que nela foi possível obter o embasamento teórico necessário para a posterior aplicação prática dos conhecimentos.

Paralelamente ao aprofundamento teórico foi feita a escolha de uma planta de um edifício residencial de múltiplos pavimentos, inicialmente projetada para a vedação com blocos cerâmicos, em cima da qual foi desenvolvido o estudo de viabilidade técnica e econômica de implantação do sistema de vedação com painéis pré-fabricados. Este procedimento foi feito juntamente com o auxílio de informações coletadas diretamente de profissionais da área da construção civil e fornecedores dos PPAC.

Foram avaliadas as vantagens e desvantagens de ambos os sistemas frente aos aspectos gerais observados, incluindo os custos envolvidos para a implantação deles na edificação em questão, permitindo, por fim, fazer uma análise de qual tem maior viabilidade técnica-econômica para aquela planta. O diagrama da **Figura 1** representa o delineamento das etapas de pesquisa deste trabalho.

Figura 1 - Delineamento das etapas de pesquisa



(fonte: própria do autor)

3 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL

Segundo a NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), os sistemas de vedação vertical podem ser definidos como “[...] partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas”. De maneira complementar, Silva e Silva (2004) afirmam que as principais funções das vedações verticais se baseiam em compartimentar a edificação e proporcionar, ao ambiente construído, as condições necessárias para o desenvolvimento das atividades previstas.

Um sistema de vedação vertical, seja ele tradicional de blocos com revestimento de argamassa ou inovador de painéis pré-fabricados, é composto por diferentes materiais e componentes, sendo que também fazem parte do sistema as esquadrias e o revestimento (ROCHA *et al.*, 2016).

3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL

Para Sabbatini e Franco¹ (2001 *apud* OLIVEIRA, 2002, p.15), o subsistema vedação vertical pode ser classificado sobre diferentes enfoques, sendo as mais relevantes para este trabalho apresentadas a seguir:

- a) quanto à posição no edifício: externa (de fachadas), ou interna;
- b) quanto à técnica de execução: por conformação, acoplamento úmido, ou por acoplamento a seco;
- c) quanto à densidade superficial: leve (vedação de baixa densidade superficial – de 60 a 100 kg/m², e não podem ter função estrutural), ou pesada (vedação com densidade superior ao limite convencional. Podem ou não ter função estrutural);
- d) quanto à estruturação: auto-suporte, quando não possui uma estrutura complementar, pois a vedação se auto-suporta, ou estruturada, quando possui uma estrutura reticular para suporte dos componentes de vedação.

¹ SABBATINI, S. H.; FRANCO, L. S. **Produção de Vedações Verticais**. São Paulo: EPUSP, 2001. Notas de aula. Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br/Graduação/PCC2435/pdf/PCC2453-aula18a.pdf>>. Não foi possível acessar endereço indicado pela autora para obtenção de mais informações.

O subsistema pode ainda ser classificado em função do grau de industrialização do seu processo de produção. Quando este é elevado, o subsistema é considerado industrializado, e quando intermediário, recebe a classificação de tradicionais racionalizados, racionalizados ou até mesmo semi-industrializados (SABBATINI², 1989 *apud* OLIVEIRA, 2002, p. 16).

O desenvolvimento deste trabalho envolve o estudo de dois sistemas de vedação externas (de fachadas), pesados, sem função estrutural, que se diferenciam entre si pelos componentes, pela técnica de execução e pelo grau de industrialização. Enquanto o subsistema de vedação com blocos cerâmicos é racionalizado e executado por conformação ou acoplamento úmido, o de PPAC é industrializado e executado por acoplamento a seco.

A escolha de qual sistema de vedação utilizar em um edifício é um tanto quanto técnica e complexa. Geralmente, esta decisão está baseada em parâmetros como requisitos técnicos e de desempenho, sendo que ainda têm influência o planejamento, prazos e custos da execução do sistema (ROCHA, 2017). Para Barth e Vefago (2007), na decisão de qual sistema de vedação empregar ainda devem ser considerados outros fatores tais como relação custo-benefício, durabilidade e acabamentos superficiais. Neste contexto, serão descritos a seguir aspectos gerais dos sistemas de vedação estudados neste trabalho.

3.2 ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM BLOCOS CERÂMICOS

Segundo Yazigi (2009, p. 455), alvenaria pode ser definida como um “conjunto de paredes, muros e obras similares, composto de pedras naturais e/ou blocos ou tijolos artificiais, ligados ou não por argamassa”. De maneira semelhante, Silva (2003) aponta que as paredes de alvenaria são constituídas essencialmente pelas unidades de alvenaria (blocos ou tijolos) e pelas juntas de argamassa. Segundo ela, as características e o desempenho do sistema são resultantes da integração entre estes componentes uma vez aderidos. Lordsleem Jr. (2012) acrescenta que os revestimentos e as esquadrias também fazem parte do sistema de vedação, sendo que as últimas são os elementos que permitem o controle de acesso aos ambientes.

² SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos:** formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 336 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

São denominadas paredes de alvenaria de vedação aquelas que não são dimensionadas para resistir a cargas além de seu peso próprio. A maioria das paredes utilizadas para fechamento de vãos de edifícios construídos pelo processo tradicional de estrutura de concreto armado são exemplos atuais de paredes de alvenaria de vedação (LORDSLEEM JR., 2012). Serão vistos a seguir aspectos gerais deste sistema.

3.2.1 Componentes e cenário

O processo de execução de paredes de alvenaria tem sido continuamente melhorado através da sua racionalização construtiva, ou seja, um conjunto de ações que objetivam otimizar o uso de recursos disponíveis em todas as etapas do processo. Tais ações podem significar um diferencial relevante para que se alcance êxito sustentável no sistema de alvenarias de vedação, visto que este tem direta relação com a ocorrência de patologias, com o desempenho da edificação, com as elevadas perdas materiais do processo executivo, bem como com os custos totais da obra (LORDSLEEM JR., 2012).

Rocha (2017) definiu em seu estudo os componentes para execução da vedação das fachadas em alvenaria como os seguintes:

- a) componentes cerâmicos (blocos e complementares);
- b) argamassa para assentamento dos componentes;
- c) tela de aço e pinos galvanizados para amarração das alvenarias com os elementos estruturais;
- d) vergas e contravergas em blocos canaletas.

A NBR 15270-1 define bloco de vedação como sendo um “componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém”. Estes blocos devem ser usados estritamente em alvenarias que não tem função de resistir a outras cargas verticais que não sejam o seu peso próprio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

A argamassa para assentamento pode ser industrializada ou produzida na própria obra. Embora por muito tempo a execução tradicional de alvenarias de vedação tenha sido feita com argamassa de assentamento produzida em obra, o processo de racionalização tem exigido

cada vez mais um controle rígido de propriedades e qualidades das argamassas, muitas vezes especificados ainda na fase de projetos, fazendo com que a argamassa industrializada seja mais recomendada por geralmente ser mais uniforme e homogênea (LORDSLEEM JR., 2012).

Para Silva (2003, p. 97), as juntas de argamassa são essenciais no desempenho das alvenarias:

As juntas de argamassa assumem funções primordiais ao desempenho dos painéis de alvenaria no sentido de dar-lhes monolicidade, unindo solidamente os blocos e ajudando-os a resistir a esforços laterais, distribuindo uniformemente as cargas atuantes por toda a área resistente dos blocos, absorvendo as deformações naturais a que estejam sujeitos e contribuindo, nas paredes externas, para sua resistência à penetração das águas de chuva e de outros agentes deletérios.

Assim, as argamassas de assentamento devem apresentar propriedades como trabalhabilidade no estado fresco, capacidade de retenção de água, capacidade de aderência e absorção de deformações, resistência mecânica, retração na secagem e durabilidade.

Quanto às vergas e contravergas, Silva (2003, p. 117) define:

São componentes externos aos vãos, incorporados à alvenaria para distribuição das tensões que tendem a se concentrar nos vértices das aberturas de janelas e portas, evitando o aparecimento de fissuras por efeito de cisalhamento ou, no caso das vergas, absorvendo as tensões de tração na flexão.

Rocha (2017) afirma que as alvenarias de vedação com blocos cerâmicos ainda se configuram como predominantes nos sistemas de vedação utilizados no cenário nacional da construção.

A solução de vedação vertical com alvenaria de blocos cerâmicos é caracterizada por elevados índices de desperdícios e retrabalhos embutidos, sendo que a sua qualidade depende muito da mão-de-obra que a executa. Em 2006, Silva *et al.* afirmou que tais características e a falta de controle na execução geralmente eram justificadas pela não utilização de projetos, o que impedia a observância de problemas nas fases iniciais. Atualmente, estes problemas vêm sendo minimizados através do processo de racionalização construtiva descrito por Lordsleem Jr. (2012).

3.2.2 Aspectos de projeto

Para Peña e Franco (2006, p. 128), “o projeto para a produção de vedações verticais interfere na racionalização do empreendimento como um todo”. No caso das alvenarias de vedação vertical, a adoção de coordenação dimensional ainda na fase de projeto diminui as incompatibilidades e improvisações na execução. Silva (2003) afirma ainda que, na fase de projetos, quando se tratar de fachadas, deve-se verificar também a ocorrência de descontinuidades nos seus planos, tais como ressaltos, reentrâncias, juntas de dilatação, pingadeiras ou outros dispositivos de proteção dos vãos.

Neste trabalho estuda-se o processo de alvenaria racionalizada, ou seja, aquele que possui um conjunto de ações que visam otimizar os recursos disponíveis, como mão-de-obra, materiais, equipamentos e tempo. A racionalização do processo implica em um determinado planejamento no que se refere a pontos críticos de execução, cuidados com os materiais e procedimentos de controle normalizados, pontos estes que combinados formam um projeto executivo para a produção (CREMONINI³).

Silva (2003) alarma para a banalização dos projetos executivos. Segundo a autora, estes projetos muitas vezes são enviados ao canteiro de obras sem informações suficientes, ou então com incorreções em suas prescrições técnicas, fazendo com que decisões relativas à exequibilidade do projeto sejam transferidas para mestres e encarregados de obra que não têm capacitação compatível para tal.

Silva *et al.* (2006) complementam as questões envolvidas no processo de racionalização da alvenaria:

- a) utilização de blocos de melhor qualidade, preferencialmente com furos na vertical para facilitar a passagem de instalações;
- b) treinamento de mão-de-obra;
- c) utilização de família de blocos compensadores para evitar a quebra e reduzir o desperdício de materiais;
- d) melhoria nas condições de limpeza e organização no canteiro de obras.

³ Apostila não publicada de Alvenaria, utilizada pelo Prof. Ruy Alberto Cremonini na disciplina de Edificações I (ENG1013) do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O projeto para produção das alvenarias racionalizadas tem o propósito de detalhar tecnicamente o produto e o processo produtivo, bem como definir indicadores de tolerância e de controle. Geralmente, eles devem orientar a execução definindo materiais, sequência de execução, equipes de trabalho, entre outros, não se constituindo com foco somente no produto, mas também no processo. É importante que o setor de projetos tenha comunicação com os construtores, para que decisões não sejam tomadas isoladamente pela equipe de produção no canteiro de obras (LORDSLEEM JR., 2012).

Segundo este mesmo autor, um projeto ideal para produção de alvenarias contempla os seguintes elementos: plantas de marcação de 1ª e 2ª fiadas e de modulação vertical; plantas de passagens elétricas e hidrossanitárias; caderno de elevações; caderno de detalhes construtivos, quantificação de elementos, e planta de logística.

As plantas de marcação, também denominadas de plantas de modulação, informam a distribuição horizontal dos blocos além de indicarem vazios, pilares e vigas da estrutura. Estas plantas contêm ainda informações referentes ao tipo de amarração entre paredes e estrutura, a numeração das paredes, os enchimentos, as cotas de vãos, os reforços, bem como uma legenda com representação gráfica. As plantas de passagens elétricas e hidrossanitárias, bem como os cadernos de elevações e detalhes construtivos apresentam as demais informações específicas para a execução das paredes.

3.2.3 Aspectos de execução

De acordo com Cremonini⁴, o processo de execução da alvenaria segue a seguinte sequência: liberação da estrutura; locação das paredes; elevação das paredes; fixação das paredes na estrutura ou encontro entre paredes; fixação superior.

Segundo Yazigi (2009), as condições de início para o processo executivo da alvenaria são a impermeabilização do substrato no térreo e a retirada do escoramento apoiado na laje superior. É fundamental ainda que as faces dos pilares e vigas em contato com a alvenaria

⁴ Apostila não publicada de Alvenaria, utilizada pelo Prof. Ruy Alberto Cremonini na disciplina de Edificações I (ENG1013) do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

sejam chapiscadas com pelo menos três dias de antecedência para garantir a melhor aderência entre estrutura e vedação.

Segundo Lordsleem Jr. (2012), as paredes devem ser elevadas com locação, planeza, prumo e nivelamento com tolerâncias adequadas ao revestimento que será empregado, juntas e fixação corretamente executadas e também compatíveis com o projeto. Para isso, é fundamental antes do início dos serviços verificar a disponibilidade de ferramentas e equipamentos, e realizar um levantamento da estrutura a fins de identificar a ocorrência de eventuais desvios que prejudiquem as qualidades exigidas do produto final.

Assim, a elevação das paredes inicia com a marcação da primeira fiada a fim de corrigir eventuais desníveis da laje. Os blocos são assentados a partir das extremidades, onde se unem à estrutura, com o objetivo de manter os eixos de referência. A elevação da parede deve-se atentar para a amarração entre diferentes fiadas, de maneira a ficar com juntas verticais desencontradas. Deve ser feita a fixação superior do vão entre o final da elevação da parede e a estrutura com argamassa expansiva a fim de tolerar as deformações da estrutura. É recomendado que esta fixação superior seja feita depois de concretadas quatro lajes acima e desformados dois pavimentos superiores (YAZIGI, 2009).

“As fachadas produzidas com alvenaria de blocos cerâmicos exigem para seu adequado desempenho e funcionamento o emprego de revestimentos externos e internos, os quais trabalham comumente aderidos ao substrato” (ROCHA, 2017, p. 45). A respeito dos revestimentos, Antunes (2016) atenta para a necessidade de prever telas de aço galvanizadas nas extremidades do vão a fim de compatibilizar deformações entre estrutura e alvenaria, bem como melhorar o desempenho à tração do revestimento de argamassa.

Muitos são os fatores que influenciam na qualidade final de uma parede de alvenaria, dentre os quais se destacam a regularidade da geometria da estrutura, a qualidade da mão-de-obra executora, a escolha dos blocos de vedação e as argamassas utilizadas para assentamento e revestimento da parede. No caso da escolha dos blocos, já se encontram no mercado vários tipos, no entanto, um dos problemas recorrentes é que muitas construtoras os adquirem pelo menor preço, ignorando detalhes técnicos importantes como, por exemplo, o controle dimensional e as condições de fornecimento (SILVA *et al.*, 2006).

A garantia de qualidade e padronização da execução de alvenarias de vedação pode ser estabelecida através de um controle de itens com caráter de inspeção realizado em cada etapa do processo construtivo, desde as condições para o início da locação da 1ª fiada até a fixação da alvenaria. Para isso, é fundamental definir as responsabilidades de cada elemento no processo de produção, diretrizes de como os serviços serão acompanhados, mecanismos de recebimento de cada atividade, tolerâncias, correção das não-conformidades e circulação das informações entre todos os envolvidos com a produção (LORDSLEEM JR., 2012).

3.2.4 Planejamento e logística de canteiro de obras

A logística de canteiro de obras é específica para cada projeto. Esta variável depende da área disponível destinada ao abrigo de insumos, à realização de atividades referentes ao serviço e ao acesso de equipamentos, materiais e pessoas. Também se relacionam à logística do canteiro de obras aspectos como o fornecimento de energia, os meios de transportes, e ainda os componentes de alvenaria empregados na sua execução (SILVA, 2003).

Dentro do planejamento de uma obra, o arranjo do canteiro apresenta-se como uma das partes de maior relevância, tendo impacto significativo sobre os custos e duração de construção. Na construção civil, pode-se analisar o canteiro de obras como uma “fábrica móvel”, onde os insumos – materiais, equipamentos ou mão-de-obra – deslocam-se com o propósito de formar um produto final estacionário (LIMMER, 1997).

Gehbauer⁵ (2004 *apud* ALMEIDA, 2010, p. 30) afirma que “o transporte de materiais é uma atividade que, embora não agregue valor na construção civil, corresponde a aproximadamente 80% das atividades de construção”. No caso das alvenarias de vedação, cujo principal componente é o bloco cerâmico, pode-se reduzir o transporte e minimizar as perdas através da paletização, desde que se tenha mudança nos equipamentos de descarga e transporte.

Em caso de paletização, para ser vantajoso deve-se ter disponível em obra uma grua para que os blocos possam ser transportados diretamente até o pavimento de uso; caso contrário, se a estocagem não é feita no próprio pavimento, faz-se necessário prever local coberto longe de

⁵ GEHBAUER, P. F. **Racionalização na construção civil**: como melhorar processos de produção e de gestão. Recife: FTD, 2004.

umidade, além de carrinhos para o transporte dos blocos até o elevador que os transportará para o local de uso (SILVA, 2003).

3.3 VEDAÇÃO COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO (PPAC)

São apresentados a seguir aspectos gerais do sistema de vedação com PPAC.

3.3.1 Componentes e cenário

Oliveira (2002, p. 20) propõe que o painel pré-fabricado seja avaliado como um elemento todo, considerando suas fixações e juntas, e não somente o painel como um componente individual:

O elemento painel pré-fabricado arquitetônico de concreto é aquele composto de unidades pré-fabricadas em fôrmas especiais ou padronizadas, com revestimento em pelo menos uma de suas faces, geralmente a externa, com função de fechamento, fixados na estrutura-suporte por meio de dispositivos de fixação metálicos, com presença de juntas entre as unidades [...].

Temoche-Esquivel *et al.* (2006) também definem os componentes do sistema de vedação com PPAC como sendo o painel de concreto, os dispositivos de fixação e as juntas. Segundo eles, os painéis são geralmente planos, fabricados em moldes com dimensões padronizadas e são geometricamente precisos. Para Oliveira (2002), pode-se dividir o componente painel em duas camadas, sendo uma de concreto armado, que serve como base e deve ser projetada para garantir os requisitos de desempenho, e outra de revestimento, que, nos PPAC, pode contribuir para o isolamento térmico-acústico, mas geralmente tem função estética.

Os painéis arquitetônicos são fabricados com concretos especiais reforçados com armaduras cuja função é torná-los resistentes aos esforços mecânicos. Além disso, as armaduras também têm a função de impedir o aparecimento de fissuras nos painéis, visto que eles são utilizados em fachadas, que por sua vez funcionam como elemento de proteção do edifício e estão em constante contato com agentes agressivos (BARTH; VEFAGO, 2007).

Segundo Barth e Vefago (2007), os painéis pré-fabricados em concreto arquitetônico de vedação não recebem cargas de outros elementos, mas estão submetidos às cargas do seu peso próprio, ação do vento e cargas térmicas, as quais transmitem para a estrutura da edificação através de suas fixações. De acordo com estes mesmos autores, podem ser subdivididos em painéis:

- a) maciço: é o painel com custos mais reduzidos, porém apresentam elevada passagem de fluxo de calor;
- b) nervurado: a face externa deste painel é lisa e a interna apresenta nervuras de reforço que exigem a colocação de um fechamento interno na obra;
- c) sanduíche com união rígida: formado por duas camadas de concreto que estão interligadas por nervuras. O núcleo deste painel é geralmente executado com material de baixa condutividade térmica;
- d) sanduíche com livre movimentação: apresentam duas camadas de concreto independentes, que melhoram o desempenho térmico, uma vez reduzidas as pontes de transmissão de calor. Também permitem a livre movimentação da camada externa do mesmo.

Quanto aos dispositivos de fixação, Oliveira (2002), Temoche-Esquivel *et al.* (2006) e Barth e Vefago (2007) convergem no estabelecimento de suas funções. Segundo eles, as fixações são responsáveis pela interação entre painel-estrutura, de modo a sustentar o peso próprio dos painéis e transferir suas cargas, além de absorver as movimentações diferenciais entre painel e estrutura.

As fixações podem ser, segundo suas funções, de três tipos, sendo elas: de suporte do peso próprio do painel; de absorção das cargas laterais e movimentações diferenciais; de alinhamento do painel na montagem. Elas podem ser executadas por solda ou aparafusamento, atentando para a compatibilidade entre metal-base e dispositivo de fixação (OLIVEIRA, 2002).

As juntas entre painéis são formadas pelos limites de cada painel e têm por finalidade permitir que as expansões e contrações ocorram sem afetar a integridade dos constituintes (TEMOCHE-ESQUIVEL *et al.*, 2006). Assim, elas devem ter especial atenção no seu dimensionamento e no desempenho dos materiais utilizados, pois costumam ser o ponto crítico nas fachadas devido às solicitações inerentes das movimentações dos painéis (BARTH; VEFAGO, 2007).

As juntas podem ser abertas ou seladas. No caso de juntas abertas, a própria geometria ou introdução de um dispositivo de drenagem garantem a estanqueidade à água. (OLIVEIRA, 2002). Para Barth e Vefago (2007), as juntas abertas são comumente utilizadas em locais onde não são exigidos requisitos como estanqueidade e isolamento térmico-acústico, tais como sacadas e marquises. No caso de juntas seladas, deve-se atentar para o material selante possuir propriedades elásticas adequadas às solicitações da vedação.

Temoche-Esquivel *et al.* (2006) afirmam que a introdução de métodos e processos tecnológicos inovadores, como a pré-fabricação, tem sido uma estratégia adotada por diversas construtoras no Brasil a fim de se manterem competitivas no mercado. Segundo eles, dentre as alternativas disponíveis, os PPAC se configuram como uma boa opção.

Barth e Vefago (2007) acreditam que o fato de os painéis terem o acabamento superficial incorporado no seu processo de fabricação reduz consideravelmente a mão-de-obra correspondente à aplicação de revestimentos e pinturas no canteiro de obras. Para Medeiros *et al.* (2014), a redução do custo fixo da obra propiciada pela possibilidade de se reduzir o prazo final do cronograma tem permitido que este sistema ganhe espaço no cenário da construção civil, sobretudo em relação ao sistema de vedação em alvenaria de blocos.

3.3.2 Aspectos de projeto

Para Gerolla (2007, p. 1), “pensar a diferença básica entre a construção pelos métodos tradicionais e uma obra que recebe elementos pré-fabricados é ter em mente, antes de tudo, um projeto bem resolvido, uma fábrica e uma linha de montagem”. De maneira semelhante, apontam Barth e Vefago (2007, p. 18): “Os elementos pré-fabricados colocam-se como um sistema construtivo onde é exigida a integração entre projeto, fabricação, montagem e responsabilidade técnica do fabricante quanto ao desempenho e durabilidade das fachadas”.

Na fase de projetos, primeiramente é feita a divisão da fachada em módulos pelos arquitetos, sendo que tais divisões seguem orientações dos fabricantes dos painéis, para posteriormente desenvolver a compatibilização com o projeto estrutural, definindo os sistemas de fixação e propondo soluções para possíveis situações de incompatibilidade que possam existir (TEMOCHE-ESQUIVEL *et al.*, 2006).

Segundo Silva e Silva (2004), a fase de projeto é a que determina a geometria e a forma do painel, considerando também fatores de produção e manuseio. Nesta fase se procura padronizar a forma dos painéis a fim de aumentar a velocidade da produção, reduzir o tempo de detalhamento e confecção dos moldes e, conseqüentemente, reduzir os custos.

São perceptíveis, a partir dos aspectos descritos, diversas diretrizes que contribuem para o desenvolvimento do projeto e a sistematização dos painéis pré-fabricados nas fachadas. A seguir estão apresentadas as principais delas, descritas por Barth e Vefago (2007):

- a) modulação da estrutura: é comum os edifícios apresentarem independência entre estrutura e vedação, fazendo com que a modulação, por questões de praticidade e economia, se adeque ao posicionamento da estrutura, embora seja possível também a utilização de um suporte auxiliar para a fixação dos painéis;
- b) dimensões dos painéis: apesar de já existirem equipamentos avançados de movimentação, os meios de transporte rodoviários ainda limitam as dimensões máximas dos painéis;
- c) dimensões das juntas: o tamanho e quantidade das juntas e a capacidade elástica dos selantes aplicados dependem das dimensões dos painéis;
- d) padronização das fixações: possibilita o aumento da produtividade e a conseqüente redução dos custos. As fixações devem ser dimensionadas de acordo com as solicitações recebidas pelos painéis;
- e) racionalização de moldes: painéis com grandes índices de repetição no plano da fachada devem ser produzidos com materiais de maior durabilidade a fim de garantir a compatibilidade de todos os elementos;
- f) logística operacional: o projeto deve prever locais de descarga, armazenamento e livre movimentação dos painéis e equipamentos de montagem;
- g) segurança na montagem: como é difícil a utilização de bandejas de proteção, devem-se utilizar equipamentos adequados de segurança, sem risco de quedas e acidentes;
- h) condições para limpeza e manutenção: projeto deve contemplar o fácil acesso às fachadas com locais previstos para ancoragens.

3.3.3 Aspectos de execução

Medeiros *et al.* (2014) caracteriza a execução do sistema de vedação com painéis pré-fabricados basicamente em três etapas principais: instalação das ancoragens na estrutura, içamento e acoplamento dos painéis nas ancoragens e, por fim, tratamento das juntas. Observa-

se aqui um número de etapas consideravelmente menor quando comparado ao sistema de alvenaria racionalizada.

De acordo com Barth e Vefago (2007), pode-se dividir a ancoragem dos painéis em insertes metálicos, definidos como internos dos próprios painéis de fachada, e fixações, as quais fazem a união dos painéis com a estrutura. É importante analisar que os painéis passam por três tipos de ancoragens ao longo de seu processo de fabricação e montagem: o içamento na desmoldagem, caracterizado como o mais crítico visto que é feito poucas horas após a concretagem; ancoragens de manuseio e transporte, sendo que nesta etapa é comum o aumento das tensões nos painéis; e ainda ancoragens de fixação dos painéis.

Os equipamentos de transporte vertical dos PPAC são geralmente guindastes móveis ou guas, sendo que suas localizações devem ser previamente definidas. Os guindastes móveis apresentam maior flexibilidade neste sentido em relação às guas, visto que essas têm uma localização praticamente fixa no decorrer de toda obra. É importante, no caso da utilização de guas, analisar cautelosamente o comprimento da lança e o raio máximo necessário para içar os painéis do seu local de carregamento para o descarregamento (OLIVEIRA, 2002).

A montagem dos painéis nas fachadas pode ser realizada com operários trabalhando externa ou internamente, dependendo das características do edifício. No primeiro caso, é necessária utilização de balancins, andaimes e bandejas de proteção (BARTH; VEFAGO, 2007).

O ACI⁶ (1993 *apud* OLIVEIRA, 2002, p. 91-92) analisa ainda alguns aspectos importantes a serem verificados antes de executar a montagem propriamente dita: a liberação da montagem deve ocorrer após a verificação dos prazos mínimos para que certas deformações na estrutura ocorram; é necessário fazer uma averiguação nas fundações e ancoragens previamente; avaliar a necessidade de algum tipo de mudança no posicionamento da peça desde o seu transporte até a fixação.

A etapa de montagem admite algumas tolerâncias, definidas por Oliveira (2002, p. 97) como “aquelas que estabelecem critérios de aceitação do pré-fabricado depois de montado na estrutura, ou seja, o quanto um painel pode estar desalinhado do outro, quais as aberturas máximas aceitáveis das juntas, quais as variações de prumo aceitáveis, entre outros”.

⁶ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI – **Guide for precast concrete wall panels** – ACI 533R, Detroit, 1993.

O tratamento das juntas é a etapa final da execução do sistema de vedação com PPAC, e segundo Barth e Vefago (2007) devem ser seguidos alguns procedimentos para que o selante tenha garantia de bom desempenho:

- a) limpeza das bordas do painel para colocação de fitas adesivas de proteção;
- b) proteção das bordas com fitas adesivas;
- c) aplicação de camada de base caso recomendado pelo fabricante;
- d) colocação de perfil limitador de junta a fim de controlar sua profundidade;
- e) aplicação do material selante com inclinação em relação ao plano do painel;
- f) acabamento superficial do selante durante o período de cura.

Um dos principais aspectos do emprego de pré-fabricados em fachadas de edifícios é o potencial que eles têm de acelerar o prazo de entrega de obras através da alta produtividade, fazendo com que os custos de mão-de-obra sejam reduzidos. Todavia, para que se usufrua deste potencial, tornando o sistema vantajoso, é imprescindível que fabricantes, projetistas, construtores e montadores desenvolvam em conjunto o planejamento do projeto voltado para a eficiência de montagem (OLIVEIRA, 2002).

A produtividade e montagem dos painéis podem variar bastante de acordo com o projeto e os dispositivos preparados para permitir os ajustes. Entretanto, segundo a STAMP⁷ (2012 *apud* Medeiros *et al.*, 2014, p. 55), uma equipe composta de 6 a 8 pessoas pode instalar 10 painéis por dia levando em conta uma carga horária diária de 6 horas em condições normais de operação.

As vedações costumam ser o caminho crítico da obra depois da execução da estrutura do edifício, sendo determinantes para o início de outras atividades internas que não podem depender das condições climáticas, como as divisões internas e instalações. Dado que a racionalização da montagem com equipamentos e mão-de-obra especializada conduz a prazos reduzidos de fechamento do edifício, esta pode ser uma vantagem significativa da implantação de pré-fabricados em fachadas. Além disso, essa redução de prazos pode ser acentuada através da fabricação dos painéis enquanto a estrutura da obra ainda está sendo construída (BARTH; VEFAGO, 2007).

⁷ STAMP. **Painéis Arquitetônicos**. Disponível em <<http://www.stamppfa.com.br/painel-arquitetonico>>. Acesso em 10 out. 2013.

3.3.4 Planejamento e logística de canteiro de obras

Segundo Silva e Silva (2004), algumas das vantagens da utilização dos PPAC em relação à alvenaria tradicional são: a maior organização do canteiro de obras, a rapidez e facilidade na execução, o menor desperdício de materiais e a precisão geométrica. De maneira complementar, Temoche-Esquivel *et al.* (2006) destacam que os PPAC têm como vantagem a redução do número e a simplificação das atividades realizadas no canteiro de obras.

Oliveira *et al.* (2002, p. 1744) atentam para a possibilidade de o sistema com PPAC apresentar desvantagens caso não seja feita uma análise global de todas as disciplinas do projeto:

Erros no posicionamento das ancoragens, impossibilidade de içar um painel devido à incompatibilidade do seu peso e a capacidade do equipamento de transporte vertical disponível no canteiro, interferência com outras atividades da obra tumultuando a movimentação das outras equipes etc., são falhas geradas pela falta de coordenação de projetos e pelo ineficiente planejamento da montagem.

Ainda a respeito da adequação do planejamento e da logística no canteiro de obras, Medeiros *et al.* (2014) apontam alguns aspectos importantes para tornar o sistema mais produtivo: atenção à capacidade das guias locadas de transportar os painéis para pontos distantes do seu eixo; estabelecimento de medidas a serem tomadas em caso de peças estarem fora das tolerâncias de montagem; disponibilidade de diferentes peças no momento em que são necessárias, procurando dar sequência a montagem.

As características da obra e as condições de acesso são essenciais no planejamento. Na operação de montagem, é possível que os painéis sejam içados diretamente do caminhão, exigindo com que a colocação siga um cronograma *just in time*. Entretanto, a dificuldade em manter um ritmo regular neste processo faz com que comumente sejam necessários locais para armazenamento, os quais necessariamente devam ser de fácil acesso das guias e guindastes. Em centros urbanos de grande densidade é ainda mais difícil conseguir espaços para manobras de cargas e descargas dos caminhões, corroborando a importância do planejamento e logística do canteiro de obras (BARTH; VEFAGO, 2007).

3.4 ASPECTOS RELEVANTES DE CUSTOS

Levando em consideração que este trabalho visa avaliar a viabilidade econômica de implantação de sistemas construtivos ainda na fase de projetos, é importante ter definido o conceito de estimativa de custo. Segundo Dias (2011), a estimativa de custo é um cálculo dinâmico utilizado na fase inicial de projeto para avaliação de um determinado serviço, podendo ser baseado em índices conhecidos no mercado. “Para a composição do custo real dos diversos serviços e atividades da construção civil, devem ser considerados todos os custos envolvidos em sua execução, tecnicamente definidos em dois grupos como custos diretos e custos indiretos” (ROCHA, 2017, p. 89).

A definição de custos diretos e indiretos está vinculada à sua identificação com o produto. Segundo Limmer (1997), os custos diretos são gerados pelos insumos, como materiais, mão-de-obra, equipamentos e meios, incorporados ou não ao produto. Os custos indiretos, por sua vez, constituem-se do conjunto de todos os gastos com elementos auxiliares necessários à elaboração do produto, ou então de gastos de difícil alocação a uma determinada atividade. De modo complementar, Rocha (2017) acrescenta nos custos diretos o transporte dos insumos até as suas frentes de trabalho. Em relação aos custos indiretos, afirma que, embora sejam imprescindíveis para a execução dos serviços, geralmente não permanecem agregados à construção após sua conclusão.

O cálculo dos custos diretos é feito pelas composições de custos unitários, sendo específicos para cada serviço e de mais fácil identificação. Os indiretos, por sua vez, englobam parcelas comumente despercebidas que podem distorcer os resultados se não observadas. Para Rocha (2017), tipicamente em uma obra de construção civil têm-se os seguintes custos indiretos: construção do canteiro de obra; equipe alocada para gestão da obra; despesas mensais com água, energia, etc.; equipamentos de escritório; medicamentos; uniformes e EPIs; fretes; ferramentas manuais; instalações provisórias; caçambas para resíduos; manutenções.

Quando se analisa o planejamento e levantamento de custos de determinada tecnologia ainda na fase de projetos, é fundamental identificar cautelosamente as etapas e atividades que compõem o processo executivo desta tecnologia. Neste contexto, Medeiros *et al.* (2014) elaboraram um quadro que lista e compara os principais aspectos relevantes ao custo

associado a diferentes tecnologias de vedação, o qual servirá de guia para o desenvolvimento deste trabalho.

O **Quadro 1** é uma adaptação do apresentado pelos autores, visto que neste estudo estão englobados somente os sistemas de vedação com blocos cerâmicos e painéis pré-fabricados, e na sequência está descrito o que foi considerado em cada um dos fatores impactantes. É importante ressaltar que cada empreendimento tem uma logística específica, fazendo com que alguns aspectos possam ter relevância maior que outros.

Quadro 1 - Comparativo do impacto de fatores no custo final dos sistemas de vedação e revestimento

FATORES IMPACTANTES NO CUSTO FINAL DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO E REVESTIMENTO		ALVENARIA CONVENCIONAL REVESTIDA	PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO
CONSTRUTIBILIDADE	Logística de obra	●●●●●	●●●●
	Necessidade de equipamento	●	●●●●●
	Nível de pré-moldagem	●●●●●	●
	Velocidade de montagem	●●●●●	●●●
	Ajustes durante a montagem	●	●●●●
	Terminalidade	●●●●●	●●●●
	Necessidade de acabamento final	●●●●	●●
DESEMPENHO	Incremento de desempenho acústico	●	●●
	Incremento de desempenho térmico	●	●●●
	Incremento de segurança contra incêndio	●	●
	Incremento de durabilidade	●●	●●
	Manutenabilidade	●●●	●●
MERCADO	Cadeira produtiva	●	●●
	Contrato e responsabilidade técnica	●●●●●	●●
	Estimativa de preço (R\$/m ²)	140,00 - 190,00	350,00 - 500,00

Legenda:

- Impacto financeiro muito abaixo da média
- Impacto financeiro abaixo da média

- Impacto financeiro médio
- Impacto financeiro acima da média
- Impacto financeiro muito acima da média

(fonte: adaptado de MEDEIROS *et al.*, 2014, p. 126)

A fins de avaliar a coerência do orçamento elaborado para os sistemas de vedação de fachadas ao longo deste trabalho, as estimativas de preço indicadas por Medeiros *et al.* (2014) foram

corrigidas para o ano de 2018 através do INCC⁸ acumulado ao longo dos quatro anos, sendo este considerado de 24,3%. Assim, para o ano de 2018, pode ser considerado que o sistema de alvenaria convencional revestida tenha uma estimativa de preço por metro quadrado que varia entre R\$ 174,00 e R\$ 236,00, enquanto o sistema de painéis pré-fabricados de concreto tenha um preço variando entre R\$ 435,00 a R\$ 621,00.

Segundo Medeiros *et al.* (2014), os impactos são avaliados de maneira qualitativa e relativa, baseados em uma média virtual da influência de cada fator no custo final do sistema ou global da obra, sendo que a avaliação é feita numa escala de 1 a 5, onde o nível 1 representa um impacto financeiro muito abaixo da média – representada pelo nível 3 – e o nível 5 apresenta um impacto muito acima dela. A seguir estão apresentadas as abordagens de cada um dos fatores considerados no quadro, definidas por Medeiros *et al.* (2014, p. 127):

- a) logística de obra: impacto na sequência executiva da obra, em especial a ocupação do canteiro e a influência ou não no caminho crítico;
- b) necessidade de equipamento: combinações de equipamentos necessárias para a execução;
- c) nível de pré-montagem: como os componentes são entregues pelos fornecedores em relação à disposição final da fachada;
- d) velocidade de montagem: produtividade diária de execução;
- e) ajustes durante a montagem: custos devido a situações imprevistas durante a execução dos serviços de montagem;
- f) terminalidade: custo associado a interferências artesanais no produto final;
- g) necessidade de acabamento final: acabamento estético adicional à fachada;
- h) incremento de desempenho acústico: aumento de custo relativo a uma melhoria no desempenho acústico alterando apenas as especificações dos componentes;
- i) incremento de desempenho térmico: aumento de custo relativo a uma melhoria no desempenho térmico alterando apenas as especificações dos componentes;
- j) incremento de segurança contra incêndio: aumento de custo relativo a um aumento na segurança contra incêndio alterando apenas as especificações dos componentes;
- k) incremento em durabilidade: aumento de custo relativo a uma melhoria no desempenho acústico alterando apenas as especificações dos componentes;
- l) manutenibilidade: custos previstos de manutenção;

⁸ Índice Nacional de Custo da Construção. Disponível em: <<http://www.portalbrasil.net/incc.htm>>. Acesso em 04 set. 2018.

- m) cadeia produtiva: risco financeiro associado ao fornecimento dos componentes;
- n) contrato e responsabilidade técnica: nível de centralização da responsabilidade pelo sistema em relação aos componentes e instalação;
- o) estimativa de preço: considera opções econômicas e mais custosas para vedação em estruturas metálicas coletadas em 2013.

3.5 RESUMO COMPARATIVO DE ASPECTOS GERAIS

“Quando da escolha entre um método construtivo pré-fabricado e um tradicional, é necessário conhecer quais serão as vantagens e desvantagens, as modificações que poderão ocorrer em termos de planejamento, organização e implemento da qualidade” (OLIVEIRA *et al.*, 2002, p. 1742). De modo semelhante, Rocha (2017) acredita que a decisão da tecnologia empregada nas vedações depende de uma série de fatores, como requisitos técnicos e de desempenho, custos, logística e prazos de execução de obras.

Ao longo deste estudo percebe-se que de fato diversos aspectos variam de acordo com o emprego de cada um dos sistemas, desde fatores de projeto até executivos, como a necessidade de equipamentos e o planejamento do canteiro de obras. Assim, o **Quadro 2** visa facilitar a visualização, ainda que de maneira simplificada, das principais diferenças observadas entre os dois sistemas de vedação vertical, blocos cerâmicos e painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC).

Quadro 2 - Resumo comparativo dos aspectos gerais dos sistemas de vedação

	BLOCOS CERÂMICOS	PPAC
Técnica de execução	úmido;	seco;
	racionalizado;	industrializado;
Estocagem	estocagem de materiais necessária;	possibilidade de execução no ato do recebimento dos painéis;
Transporte	elevador de carga;	gruas;
	transporte horizontal e vertical;	transporte vertical;
Revestimento	execução do revestimento na obra;	revestimento incorporado de fábrica;
Produtividade	baixa produtividade;	alta produtividade;
Possibilidade de improvisos	alta;	baixa;
Custos	relação custo-benefício competitiva;	potencialmente mais caro;
Perdas	elevados desperdícios;	geração de resíduos reduzida;

(fonte: própria do autor)

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE

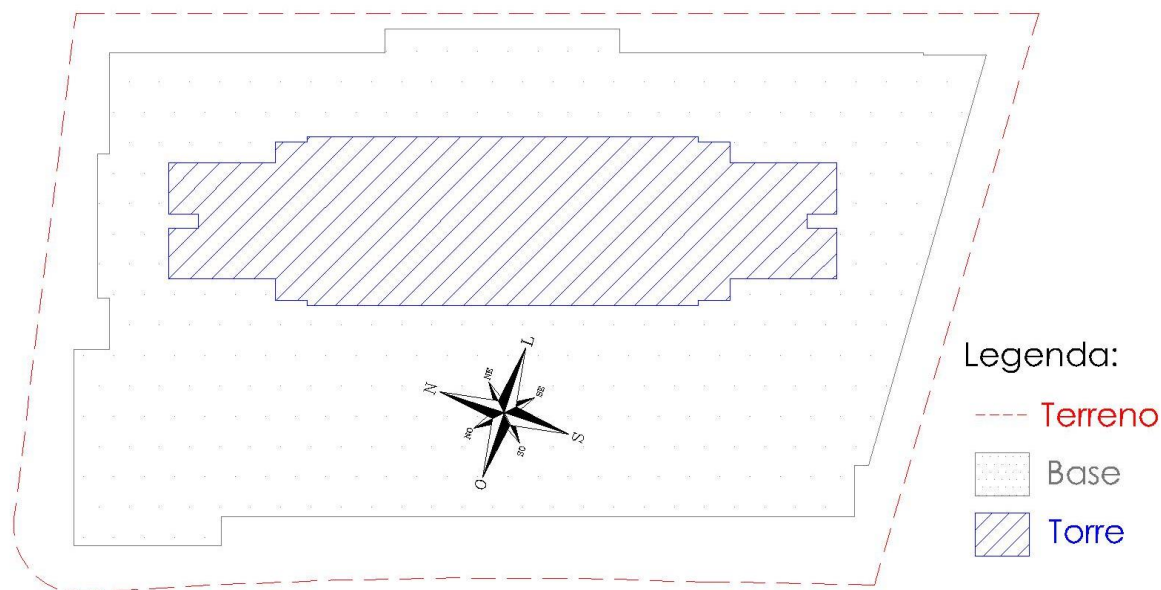
Conforme já mencionado ao longo deste trabalho, diversos são os aspectos a serem levados em conta no momento de escolher qual sistema de vedação de fachadas utilizar em uma obra. Geralmente, a análise passa por estudos de projeto, logística de canteiro de obras, disponibilidade de equipamentos e local para armazenamento de materiais, prazo disponível para execução, nível de industrialização que se pretende alcançar, e ainda pelo orçamento disponível para determinado empreendimento.

A fins de compreender melhor e expor os desafios envolvidos em uma decisão de qual sistema de vedação de fachadas utilizar entre um convencional de blocos cerâmicos com revestimento de argamassa e outro de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto, foi escolhido um empreendimento ainda na fase de anteprojeto para fazer uma análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de ambos os sistemas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento em questão se caracteriza pela presença de uma base, que se estende do subsolo ao terceiro pavimento, a qual tem uma taxa de ocupação de 90% e é composta por unidades comerciais, vagas de estacionamento e áreas condominiais distintas; uma torre de quinze pavimentos tipo com unidades residenciais de dois e três dormitórios, cuja taxa de ocupação é 75%; e ainda um volume superior na cobertura exclusivo para área de reservatórios de água, totalizando aproximadamente 26 mil metros quadrados de área construída. A **Figura 2** abaixo apresenta o posicionamento da base e da torre em relação ao terreno através de uma adaptação da planta baixa de localização do empreendimento.

Figura 2 - Localização da base e torre do empreendimento em relação ao terreno

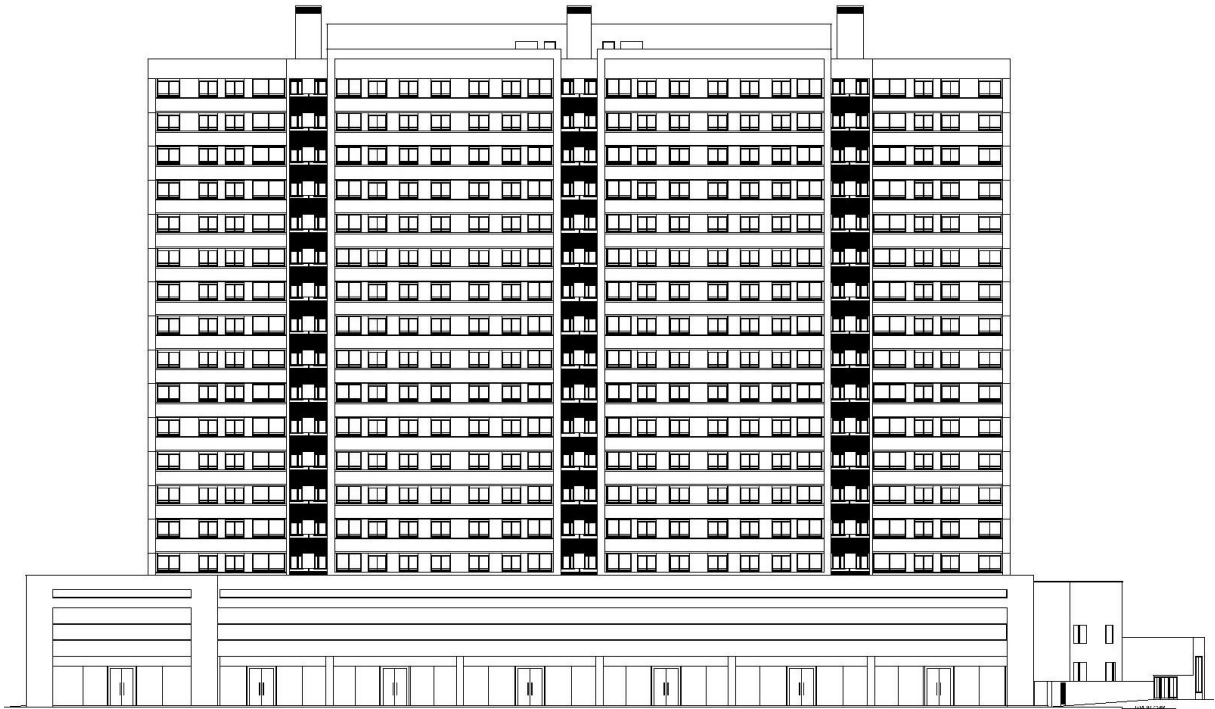


(fonte: adaptado de Juliana Schettert Arquitetura e Design, 2017)

Como o objetivo deste trabalho é avaliar sistemas de vedação de fachadas, os detalhes construtivos referentes à base do empreendimento não foram analisados de maneira tão minuciosa, visto que a sua execução, além de exigir um conhecimento técnico aprofundado de logística e planejamento, dificilmente está no caminho crítico da obra, a exceção de sua supraestrutura. Desta forma, o estudo se concentrou nas etapas construtivas da torre do empreendimento, sendo a base considerada apenas a nível macro para compor a estimativa de prazo de execução da obra.

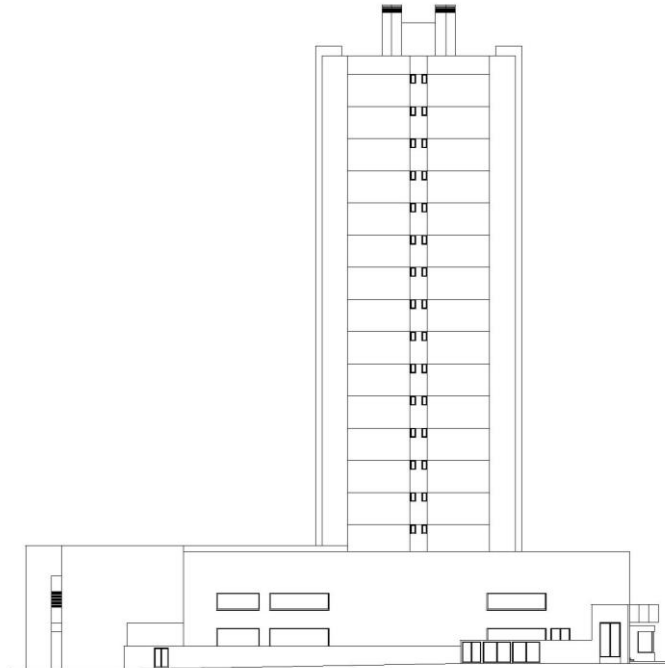
A edificação foi projetada para ser executada em estrutura de concreto armado com alvenaria de vedação em blocos cerâmicos nas paredes externas da fachada e também nas paredes internas, tanto as que dividem unidades habitacionais entre si, quanto as das áreas de uso comum, como circulações, escadarias e poços dos elevadores. As divisórias internas dos apartamentos, por sua vez, foram previstas em estrutura metálica com placas de gesso acartonado. A fachada da edificação, principal alvo deste estudo, é composta por revestimento de argamassa aderido aos blocos cerâmicos de vedação, com acabamentos em pintura sobre massa de nivelamento texturizada, e está representada através de uma simplificação de seu projeto nas **Figura 3** e **Figura 4** a seguir.

Figura 3 – Representação esquemática da fachada oeste do empreendimento



(fonte: adaptado de Juliana Schettert Arquitetura e Design, 2017)

Figura 4 – Representação esquemática da fachada sul do empreendimento



(fonte: adaptado de Juliana Schettert Arquitetura e Design, 2017)

4.2 PLANEJAMENTO E ESTIMATIVA DE PRAZO DE EXECUÇÃO

Para Mattos (2010), o planejamento de execução de um empreendimento inicia a partir da delimitação das atividades que fazem parte da obra. Segundo este mesmo autor, a melhor forma de fazer tal delimitação é através da elaboração de uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP), em que a cada nível os pacotes de trabalho vão sendo abertos em pacotes menores, até que se atinjam atividades que, individualizadas, sejam mais fáceis de serem compreendidas e mencionadas.

Levando em conta as definições de Mattos (2010), a avaliação da estimativa de prazo de execução da obra para ambos os sistemas de vedação foi feita através da elaboração de um cronograma com o auxílio do MS Project, um software de planejamento. Para isso, foram consideradas todas as atividades desde o início da obra, com os serviços iniciais do terreno, até o término da mesma, bem como as relações de precedência entre diferentes serviços. A obtenção de dados e conhecimentos suficientes para elaborar a sequência de execução da obra foi facilitada pelo fato de o aluno ter trabalhado na empresa construtora no setor de obras.

As relações de precedência são vínculos adotados que permitem organizar as tarefas em uma sequência de execução desde os serviços iniciais de uma obra até os de acabamento. Elas podem ser adotadas por diferentes questões, sejam elas técnicas, lógicas, de nivelamento de equipes ou ainda de planejamento. Nas relações de precedência técnicas podemos destacar os prazos de cura mínimos adotados para estruturas de concreto, chapiscos e revestimentos para a realização de atividades subsequentes a estas. Referente às relações adotadas pela sequência lógica de andamento de uma obra, pode-se observar o fato de um revestimento de argamassa não poder ser executado antes de levantada a parede de alvenaria, ou ainda de a parede de alvenaria só poder ser executada após concretada a supraestrutura. Nos vínculos de nivelamento de equipes é onde se controla para que um mesmo tipo de atividade não aconteça simultaneamente em dois locais da obra, dada a disponibilidade de mão-de-obra prestadora do serviço.

De modo complementar, comumente são adotados vínculos de precedência entre as atividades baseados em decisões advindas do planejamento físico específico de cada empreendimento. Nestes casos, as relações são variadas e podem sofrer alterações ao longo da execução. Na elaboração de um cronograma, geralmente se atenta ainda para que diferentes atividades não

aconteçam simultaneamente em um mesmo local, evitando que haja sobreposição de diferentes equipes na realização dos serviços.

Para a realização deste trabalho, o cronograma foi elaborado baseado em conceitos da construção enxuta, descritos e aplicados por Isatto *et al.* (2000), de maneira que a obra fosse dividida em pequenos lotes, os quais são executados e concluídos sucessivamente uns após os outros, facilitando a alocação de recursos – materiais e mão-de-obra – e o controle da produção, além de aumentar o efeito de aprendizagem ao longo da execução dos serviços. Em obras verticais de múltiplos pavimentos tipo, como é o caso da estudada neste trabalho, é comum definir o lote como um próprio pavimento tipo, prática esta adotada pela empresa construtora e, portanto, também neste trabalho.

A duração das atividades para cada pavimento tipo foi determinada baseada no prazo disponível para executar a obra, avaliado ainda na fase de viabilidade do empreendimento, bem como em históricos de outras edificações semelhantes construídas pela própria empresa, obtidos pelo aluno ao longo do tempo de trabalho na construtora. Além disso, atentou-se para que diferentes serviços não tivessem durações muito distintas, evitando folgas excessivas ou interferências de tarefas em um mesmo local.

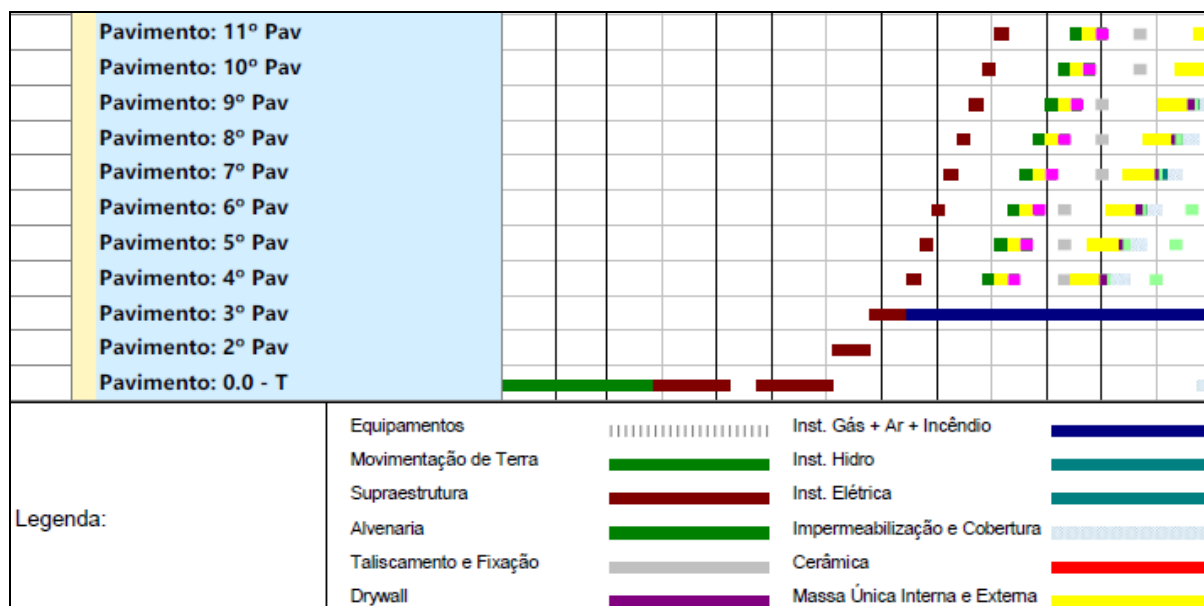
O dimensionamento das equipes não foi feito de maneira detalhada nesta fase de planejamento inicial, pois na prática é comum o mesmo ser realizado somente no momento da execução dos serviços juntamente com os fornecedores de mão-de-obra. Como a forma de contratação dos serviços é por empreitada, a empresa prestadora do serviço é a que geralmente deve viabilizar os recursos necessários para garantir que as atividades sejam executadas no custo e prazo estipulados.

Desta forma, a análise de equipes de trabalho foi feita através de uma divisão qualitativa de acordo com o tipo de serviço a ser realizado, controlando, através de uma linha de balanço, para não haver sobreposição de atividades realizadas por um mesmo grupo de trabalho. A **Figura 5** representa esta situação através de um trecho da linha de balanço elaborada para o sistema de vedação tradicional, onde cada uma das cores representa um tipo de serviço com respectiva mão-de-obra. É possível observar ainda que as atividades se repetem nos pavimentos (lotes), sendo que a sua duração em cada um deles é sempre igual, concluindo um após o outro de maneira a liberar pequenos lotes para atividades subsequentes de maneira

mais rápida. As linhas de balanço completas de ambos os sistemas de vedação estudados estão apresentadas nos **Apêndices A e B** deste trabalho.

A linha de balanço é uma ferramenta que possibilita não só identificar possíveis interferências entre equipes de trabalho, mas também analisar e compatibilizar os seus fluxos, lotes e ritmos de produção. A premissa básica da metodologia da linha de balanço é o fluxo contínuo, visto que ela expõe o curso de trabalho das equipes ao longo do tempo, facilitando a análise e permitindo visualizar os impactos causados no sistema de produção como um todo a partir das tomadas de decisão de longo prazo (KEMMER *et al.*, 2008).

Figura 5 - Trecho da linha de balanço elaborada com divisão qualitativa de equipes



(fonte: própria do autor)

Os serviços que compõem uma obra vertical de múltiplos pavimentos podem ser divididos em três grandes grupos: obra bruta, revestimento externo e obra fina. A obra bruta engloba todas as atividades que não são comprometidas diretamente com a presença de possíveis agentes degradadores externos, como a chuva. Constituem esta etapa o levantamento da supraestrutura em concreto armado, alvenaria de vedação, estrutura metálica de paredes internas em drywall, instalações embutidas, colocação de contramarcos e impermeabilização de boxes. A obra fina inicia a partir da montagem das placas de gesso acartonado nas divisórias internas, e da sequência até o término da obra, passando pelos revestimentos cerâmicos, pinturas e colocações de acabamentos em geral (portas, tampos, louças, metais, dispositivos, entre outros).

A etapa de revestimento externo é a responsável por fazer a intermediação entre a obra bruta e a obra fina através da vedação da edificação. Teoricamente, quanto mais rapidamente for executado o revestimento externo, antes é possível iniciar a obra fina e, conseqüentemente, concluí-la. Devido a isso, esta etapa está presente no caminho crítico de execução, sendo apontada como um gargalo⁹ tecnológico da construção civil.

Como já visto, diversos autores, entre os quais se destacam Barth e Vefago (2006) e Silva e Silva (2004), apontam para o potencial de um sistema de vedação com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) acelerar o prazo de entrega dos empreendimentos devido ao seu grau de industrialização, que reduz significativamente a quantidade de etapas a serem realizadas no canteiro de obras. Os detalhes referentes às diferenças de planejamento, vínculos entre as atividades subsequentes e prazos de execução entre um sistema de vedação tradicional com alvenaria de blocos cerâmicos e outro com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) aplicados ao empreendimento em estudo serão vistos a seguir.

4.2.1 Vedação tradicional com blocos cerâmicos

A vedação de fachada com blocos cerâmicos consiste em um sistema composto por várias atividades realizadas no canteiro de obras, o que demanda uma quantidade grande de mão-de-obra. Para Rocha (2017), as etapas envolvidas no processo construtivo de fachada pela tecnologia tradicional têm como principal característica a inter-relação e interdependência entre as atividades de produção, principalmente no que se refere ao início de uma determinada atividade somente após o término de todo o ciclo da atividade antecessora.

⁹ Segundo Umble e Srikanth* (1985 *apud* SCHRAMM, 2004, p. 55), “gargalo é o processo do sistema de produção com a menor capacidade de produção, representando a restrição máxima na capacidade de produção do sistema de produção como um todo”, ou seja, é o processo cujo recurso limita a capacidade do sistema.

*UMBLE, M.M.; SRIKANTH, M.L. **Synchronous Manufacturing: principles for world-class excellence.** Wallingford: The Spectrum Publishing Company, 1995.

Foram consideradas neste trabalho as seguintes etapas para o sistema tradicional: levantamento da alvenaria de vedação no perímetro da fachada; colocação de contramarcos para posterior instalação de esquadrias; revestimento de argamassa interno e externo, sendo este último executado com o auxílio de andaimes suspensos na maior parte da fachada, mas também pelas lajes técnicas do pavimento em alguns pontos; instalação de peitoris; instalação de esquadrias, e, por fim, acabamentos com pintura sobre massa de nivelamento. A **Figura 6**, **Figura 7**, **Figura 8** e **Figura 9** demonstram algumas destas etapas.

Figura 6 – Vista interna do levantamento de alvenaria e colocação de contramarcos em aberturas



(fonte: própria do autor)

Figura 7 - Posicionamento de balancins para execução de revestimento após concluído levantamento da alvenaria



(fonte: própria do autor)

Figura 8 - Preparo da superfície da fachada para revestimento externo com andaime suspenso



(fonte: própria do autor)

Figura 9 - Fachada revestida e detalhamento de peitoril já instalado



(fonte: própria do autor)

Para a elaboração do cronograma, foram adotadas premissas baseadas em práticas comuns do mercado, e também em procedimentos de execução de serviços normalizados. Assim, para o início do levantamento da alvenaria de vedação, consideraram-se necessários vinte e oito dias de folga desde o término da supraestrutura de concreto armado do pavimento acima, respeitando o prazo mínimo de cura e retirada do escoramento do concreto do pavimento, além de no mínimo terem sido concretadas quatro lajes acima, para que já se tenha um carregamento e deformação mínimos aplicados. Na **Figura 10** está representada esta situação aplicada ao serviço de alvenaria de vedação do 4º pavimento da torre residencial do empreendimento em estudo.

Figura 10 - Vínculo adotado entre término da supraestrutura e início da alvenaria de vedação

Nome: Chapisco, alvenaria e instalações 4º pavimento				
Predecessoras:				
	Id	Nome da tarefa	Tipo	Latência
	17	Supraestrutura 5º pavimento	Término-a-Início (TI)	28dd
	20	Supraestrutura 8º pavimento	Término-a-Início (TI)	0d

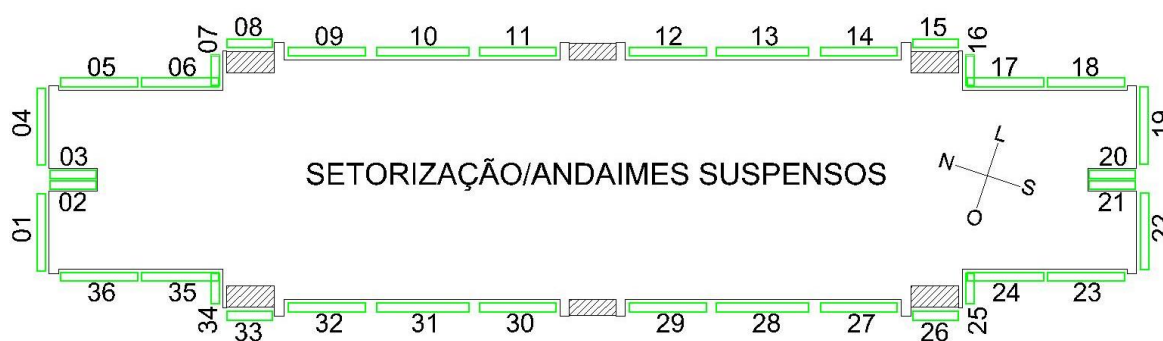
(fonte: própria do autor)

Uma vez concluída a alvenaria de vedação de determinado pavimento, incluindo as instalações nela embutidas, considerou-se possível o início do taliscamento das paredes para o posterior recebimento do revestimento interno. Entre estas duas atividades, adotou-se necessária a execução das instalações de gás embutidas no piso, o revestimento de teto e a colocação de contramarcos já em acordo com a espessura determinada para o revestimento interno de paredes. Estas considerações foram tomadas baseadas na sequência de execução de obras da construtora analisada, podendo haver variações no cenário da construção em geral.

Conforme mencionado anteriormente, assumiu-se que o revestimento externo da alvenaria de vedação da fachada fosse realizado com o auxílio de andaimes suspensos, a exceção dos locais que pudessem ser revestidos pelas lajes técnicas do pavimento. Considerando que o revestimento por balancins é feito verticalmente em panos de fachada, este serviço só pode ser iniciado após o término da alvenaria de todos os pavimentos tipo. Ainda, para a montagem dos equipamentos, faz-se necessário prever estruturas de ancoragem na cobertura, considerações estas adotadas neste trabalho.

Baseando-se em práticas comuns adotadas no mercado e atentando-se para o tamanho dos balancins, foi elaborada uma setorização de andaimes suspensos capaz de revestir a fachada do empreendimento em questão, totalizando trinta e seis posições distintas, com andaimes de plataformas com dois, três, cinco ou seis metros de comprimento, dependendo da situação, cada um responsável por revestir uma parcela da edificação, conforme demonstrado na **Figura 11**.

Figura 11 - Setorização de andaimes suspensos para vedação da fachada do empreendimento



(fonte: própria do autor)

Por questões de disponibilidade de recursos, tanto de equipamentos quanto de mão-de-obra, não é viável planejar que todos andaimes suspensos sejam montados simultaneamente no entorno da fachada para revesti-la em uma única etapa. Desta forma, para a composição do prazo de execução do revestimento externo da alvenaria, foi considerada uma equipe de seis pedreiros, sendo necessários, portanto, seis andaimes suspensos em um mesmo momento. Assim, admitiu-se que a cada vez que uma determinada prumada tenha seu revestimento finalizado, é realizada uma troca de posição para outra subsequente, de maneira que cada um dos seis balancins disponíveis em obra fosse realocado cinco vezes, totalizando as trinta e seis posições necessárias para o total revestimento da fachada. Esta situação está apresentada no **Quadro 3**, onde as cores vermelho e azul foram adotadas para diferenciar os tamanhos de balancins, sendo a cor vermelha representativa de andaimes de cinco e seis metros, e a cor azul, de dois e três metros.

Quadro 3 - Sequência de troca de posições de andaimes suspensos

6 PEDREIROS	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS
POS 05	→ POS 06	→ POS 09	→ POS 10	→ POS 11	→ POS 04
POS 18	→ POS 17	→ POS 14	→ POS 13	→ POS 12	→ POS 19
POS 23	→ POS 24	→ POS 27	→ POS 28	→ POS 29	→ POS 22
POS 36	→ POS 35	→ POS 32	→ POS 31	→ POS 30	→ POS 01
POS 02	→ POS 03	→ POS 07	→ POS 08	→ POS 34	→ POS 33
POS 20	→ POS 21	→ POS 16	→ POS 15	→ POS 25	→ POS 26

(fonte: própria do autor)

Cada uma destas prumadas de fachada engloba uma parcela do total de aberturas que compõem a edificação. Para realizar a colocação de peitoris e esquadrias em uma prumada, e consequentemente vedar um trecho da edificação internamente, faz-se necessário o término do seu revestimento. Assim, visto que o revestimento externo é executado verticalmente e por trechos, e que o lote dos serviços internos da torre foi definido como um pavimento tipo – portanto, horizontal –, só é possível concluir tal vedação e iniciar a obra fina em determinado pavimento depois de todas as prumadas estarem revestidas e com as esquadrias colocadas.

Este processo de montagem de balancins, execução do revestimento externo, desmontagem e troca de posições para outras prumadas é demorado, fazendo com que se crie uma folga grande entre o término da última atividade da obra bruta e o início da fina. Por isso, geralmente o revestimento externo de uma edificação executado através deste sistema encontra-se no caminho crítico de execução. Esta situação está representada no **Quadro 4**, cujas informações foram retiradas do cronograma.

Quadro 4 - Representação do prazo de execução da fachada

4º PAVIMENTO - TORRE		
Etapa	Serviço	Data de término
Obra Bruta	Impermeabilização dos boxes	16/12/2019
Revestimento Externo	Colocação de esquadrias	26/05/2020
Folga para início da obra fina (meses) =		5,4

(fonte: própria do autor)

Percebe-se que entre o término da última atividade da obra bruta (impermeabilização dos boxes) no quarto pavimento (primeiro a ser executado) e o início da obra fina, constam

aproximadamente cinco meses de folga resultados do longo processo de revestimento de fachada e colocação de esquadrias.

No caso da obra estudada neste trabalho, foi observado, através da setorização de andaimes suspensos elaborada, que algumas posições de balancins se encontram em panos cegos de fachada, ou seja, sem a presença de vãos livres e, conseqüentemente, esquadrias. Desta forma, o cronograma foi montado de modo que estas fossem as últimas a serem revestidas, minimizando assim o prazo de execução e otimizando as atividades no caminho crítico.

Outra consideração importante adotada para a elaboração da estimativa de prazo de execução da obra com o sistema de vedação tradicional foi a presença de um elevador cremalheira para transporte vertical de materiais. Nesta situação, a prumada na qual o mesmo está localizado não pode ser revestida antes de feita a desmontagem do equipamento. Por questões de logística e práticas comuns, considerou-se, para o empreendimento em questão, que a desmontagem do elevador cremalheira fosse feita somente após a montagem do elevador definitivo, bem como após o término do transporte vertical de materiais pesados, como, por exemplo, cerâmicas e portas.

Muitas vezes, não só o pano de fachada em si do elevador cremalheira é afetado pela presença do mesmo. No empreendimento estudado, devido ao fato de haver uma base sob a torre com uma taxa de ocupação elevada no terreno, fez-se necessário prever um trecho em vão livre nas lajes da base para que o elevador cremalheira conseguisse acessar os pavimentos inferiores. O prazo para concretar estes trechos em aberto e o posterior acabamento destas áreas também foram considerados no desenvolvimento deste estudo.

Ao término da elaboração do cronograma, constatou-se que uma estimativa de prazo viável para a execução da edificação com um sistema de vedação de fachada com blocos cerâmicos é de aproximadamente 26 meses e meio, prazo este condizente com o considerado no estudo de viabilidade da empresa. O cronograma completo de execução da obra para este sistema encontra-se no **Anexo A**.

4.2.2 Vedação com Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto

Em contrapartida ao sistema de vedação tradicional, a utilização de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto em fachadas possibilita reduzir significativamente a quantidade de atividades realizadas no canteiro de obras. Isso se deve ao fato de todo o processo de execução de revestimentos com levantamento de alvenaria e assentamento de argamassa, descritos anteriormente, ser substituído pela montagem de painéis que já possuem em sua composição o acabamento final de fachada desejado. Esta redução de etapas no canteiro e a consequente aceleração do prazo de entrega é potencializada pelo fato de os painéis serem fabricados ainda na fase de projetos da edificação. Da mesma forma que é reduzida a quantidade de serviços executados no canteiro, também são as tarefas e vínculos a serem acrescentados no cronograma.

Na composição do sistema para este trabalho, foram considerados painéis pré-fabricados com acabamento externo concluído, e contramarcos colocados, conforme representado nas **Figura 12** e **Figura 13**, respectivamente, sendo que estes painéis adotados exigem que se faça, após sua instalação, um revestimento interno. Como as divisórias dos cômodos dos apartamentos previstas no projeto são em estrutura metálica com placas de gesso acartonado, e essa também é uma prática adotada no mercado para fechamento dos painéis, considerou-se assim neste trabalho. Desta forma, uma mesma equipe poderia realizar todo o serviço de vedações internas, otimizando o processo, conforme demonstrado na **Figura 14**. Na mesma figura, percebe-se que é necessário executar uma compartimentação entre pavimentos após a instalação dos painéis devido à folga com que os mesmos são posicionados em relação à estrutura.

As ancoragens para fixação dos painéis são fornecidas e inspecionadas pelos próprios prestadores do serviço de fabricação e montagem dos PPAC, sendo que as mesmas devem ser posicionadas ainda na fase de execução da estrutura da edificação. Desta forma, também se tem ganhos na produtividade, visto que o posicionamento das ancoragens pode ser visto como uma atividade ainda da fase de execução da supraestrutura.

Figura 12 - Face externa de PPAC com acabamento desejado



(fonte: cortesia de Eng. Luiz Medeiros, arquivo de 2016)

Figura 13 - Face interna de PPAC com contramarco colocado



(fonte: cortesia de Eng. Luiz Medeiros, arquivo de 2016)

Figura 14 – Estrutura metálica para posterior revestimento interno de painéis com placas de gesso acartonado



(fonte: cortesia de Eng. Luiz Medeiros, arquivo de 2016)

Em um comparativo entre as quantidades de alvenaria de blocos cerâmicos e paredes de gesso acartonado a serem executadas em ambos sistemas de vedação, fica perceptível uma diferença. No sistema tradicional, tem-se alvenaria de blocos cerâmicos nas paredes externas do perímetro da fachada e nas paredes do miolo da torre (região de circulações e escadaria), e paredes de gesso acartonado nas divisórias internas dos apartamentos. Já no sistema de vedação com PPAC, o perímetro da fachada é revestido com gesso acartonado (lado interno dos painéis), tendo alvenaria de blocos somente nas paredes do miolo. Essa diferença foi considerada no cronograma para se ter uma estimativa mais realista dos prazos de execução, de forma que foi reduzido o tempo considerado para executar a alvenaria de blocos de um pavimento tipo no caso de a vedação ser com painéis, e aumentado o tempo para realizar o serviço de estrutura metálica com placas de gesso acartonado.

A elaboração do cronograma de execução do sistema de vedação com PPAC foi feita baseada em informações coletadas por profissionais da área com experiência no mercado e nos sistemas de vedação, que já trabalharam ou desenvolveram estudos sobre este assunto, entre os quais se destacam Garcia, Herrmann e Medeiros¹⁰. A partir destas entrevistas, foi possível compreender alguns detalhes executivos do sistema de vedação com PPAC, essenciais à

¹⁰ Entrevistas orais e escritas não publicadas realizadas para a obtenção de informações técnicas do sistema de vedação com PPAC.

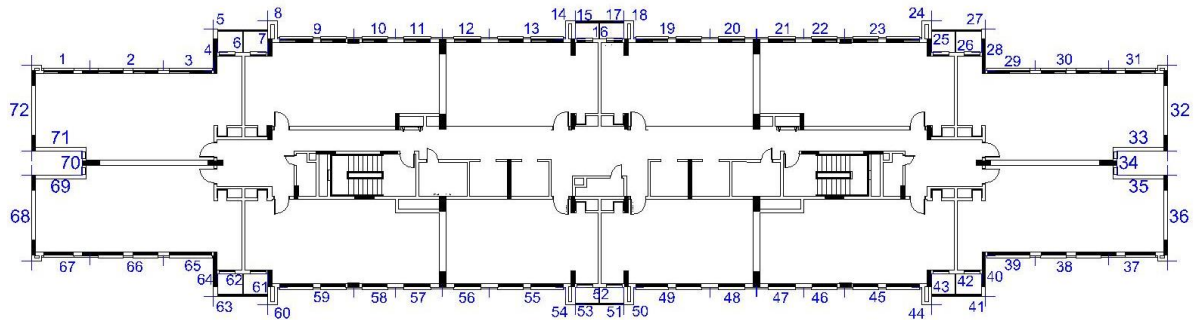
elaboração do cronograma, como o seu grau de produtividade, etapas e equipamentos envolvidos na sua execução. Para que se tenham ganhos significativos no prazo, definiu-se que a montagem dos painéis fosse feita por pavimentos, e não por prumadas, de modo que as esquadrias pudessem ser instaladas desta mesma forma, vedando um andar o mais rápido possível e liberando o início da obra fina logo após o término da bruta.

Considerou-se que a fixação dos painéis fosse iniciada após vinte e oito dias de folga desde a concretagem da laje do pavimento acima, mesmo vínculo adotado para o início da alvenaria de vedação no caso do sistema tradicional. Este prazo permite que a estrutura atinja a resistência de projeto prevista, e que deformações mínimas já tenham ocorrido devido à carga exercida pelas lajes dos pavimentos superiores, minimizando assim, as tensões transmitidas até os painéis.

O tempo estimado para a vedação de um pavimento tipo com painéis pré-fabricados varia de acordo com a quantidade de painéis e com a complexidade da geometria dos mesmos. Para o empreendimento estudado, foi elaborada uma paginação atentando-se para que as dimensões dos painéis não ultrapassassem 5,50 metros de comprimento e 2,75 metros de altura, evitando possíveis problemas de transporte dos mesmos até a obra, conforme mencionam Barth e Vefago (2007), bem como problemas de peso elevado para içamento e ancoragem à edificação. Essas definições estão de acordo com o estudo de Silva e Silva (2004).

A paginação resultou em um total de 72 painéis por pavimento tipo. Segundo dados de fornecedores e estudos realizados, como por exemplo o de Medeiros *et al.* (2014), uma equipe pode montar em média 10 painéis por dia de trabalho. Assim considerando, seria possível vedar um pavimento da edificação em 7 dias úteis, prazo adotado neste trabalho. A **Figura 15** apresenta a paginação adotada para a vedação do empreendimento com PPAC.

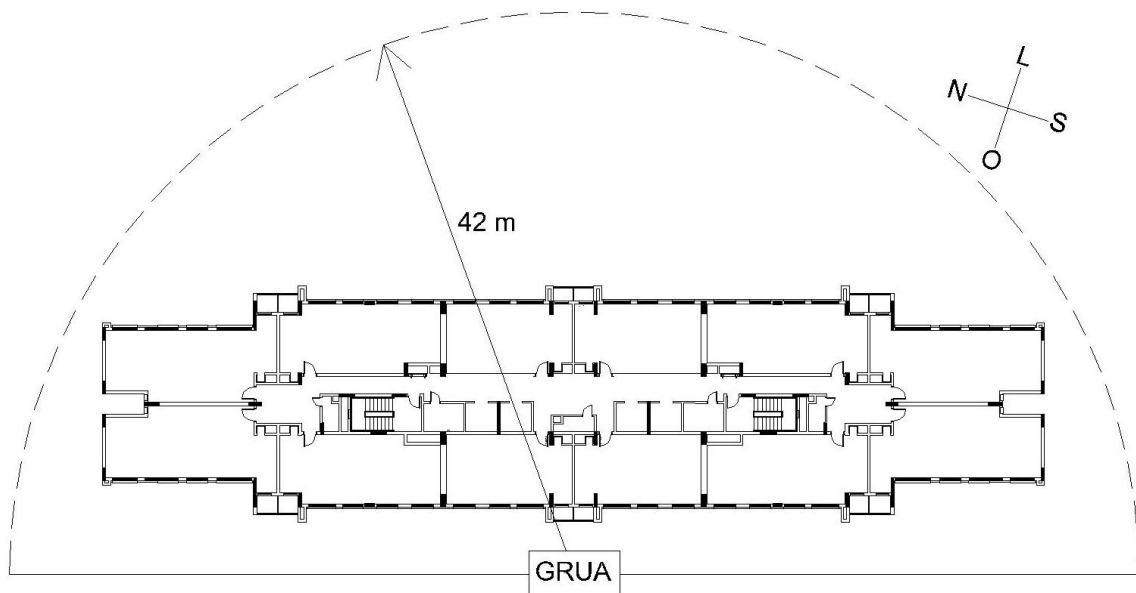
Figura 15 - Paginação de PPAC elaborada para estimar a quantidade de painéis necessária para vedar a edificação



(fonte: própria do autor)

O içamento e a montagem dos painéis é feito com o auxílio de guindastes ou gruas. Como a obra em questão possui uma base que se estende por boa parte do terreno até o terceiro pavimento, a movimentação de guindastes no entorno da torre se torna inviável. Assim, foi prevista uma grua ascensional com lança mínima de 40 metros, capaz de alcançar todo o perímetro da fachada da torre para o posicionamento dos painéis, conforme ilustrado na **Figura 16**.

Figura 16 - Posicionamento e tamanho da lança previsto para a grua



(fonte: própria do autor)

O dimensionamento da capacidade de carga da grua necessária para o içamento dos PPAC foi calculado baseado nas dimensões dos painéis propostos na paginação elaborada. Tomando como base o painel de maiores dimensões, cujo comprimento é de 5,30 metros, e adotando

para este mesmo uma espessura de 12 centímetros, conforme sugere o estudo de Silva e Silva (2004), e uma massa específica de 2.000 quilos por metro cúbico, encontrou-se um peso de 3.500 quilos para o painel. A coerência da paginação elaborada, da produtividade de montagem dos painéis, bem como do dimensionamento dos mesmos e da grua necessária à execução do sistema de vedação com PPAC pode ser confirmada pela STAMP¹¹, empresa contratada para a elaboração de uma proposta técnica de fabricação e montagem dos painéis.

Da mesma forma que no sistema tradicional, a montagem e desmontagem dos equipamentos para transporte na obra influenciam no prazo de execução da mesma, sendo, portanto, considerados na elaboração do cronograma. Além da grua, foi previsto um elevador cremalheira para movimentação vertical de materiais, e a possibilidade de desmontagem dele seguiu os critérios adotados para o método de vedação com blocos cerâmicos: necessidade de estar montado o elevador definitivo do empreendimento, bem como estarem concluídos os transportes de materiais pesados para os pavimentos, como cerâmicas e portas. Como o pano de fachada do elevador cremalheira deve ser vedado após a sua desmontagem, não pode ser feita a desmontagem da grua antes de serem posicionados os painéis desta prumada, ou seja, de todos os pavimentos.

O cronograma de execução da obra com o sistema de vedação com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto resultou em uma estimativa de prazo de 21 meses e meio, 5 meses a menos que o sistema tradicional, e está detalhado no **Anexo B**.

É importante ressaltar que para que se tenha este ganho, é necessário que diversos setores trabalhem conjuntamente para que não se tenham imprevistos na hora da montagem dos painéis, como, por exemplo, incompatibilidade de dimensões ou tonalidades, visto que estes são problemas que demandam tempo e custos elevados para reparar.

Visando facilitar a visualização das etapas necessárias a serem realizadas em obra para vedar uma fachada com alvenaria de blocos cerâmicos e com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto, bem como os prazos previstos para a execução de cada um deles baseado nos cronogramas elaborados neste trabalho, foi feito um comparativo no **Quadro 5** apresentado abaixo.

¹¹ STAMP Painéis Arquitetônicos: Proposta técnica de fabricação e montagem de painéis arquitetônicos para o empreendimento em estudo.

Quadro 5 - Comparativo de procedimentos e estimativas de prazos de execução do empreendimento com ambos os sistemas de vedação de fachadas

Fachada Convencional	PPAC
ETAPAS	ETAPAS
<ul style="list-style-type: none"> * Supraestrutura de concreto armado; * Colocação de telas; * Alvenaria de blocos cerâmicos; * Colocação de vergas e contravergas; * Fixação da alvenaria; * Colocação de contramarcos; * Taliscamento; * Chapisco e revestimento interno; * Massa de nivelamento e pintura interna; * Estrutura para ancoragem de andaimes; * Montagem de andaimes suspensos; * Lavagem da estrutura; * Chapisco e regularização externa da fachada; * Mapeamento da fachada; * Colocação de molduras; * Revestimento externo; * Execução de frisos no revestimento externo; * Colocação de peitoris; * Colocação de esquadrias; * Massa de nivelamento texturizada; * Pintura externa. 	<ul style="list-style-type: none"> * Supraestrutura de concreto armado; * Montagem de grua ascensional; * Insertes metálicos na estrutura para fixação dos painéis; * Içamento e montagem dos PPAC; * Tratamento de juntas dos PPAC; * Compartimentação entre pavimentos; * Colocação de esquadrias; * Revestimento do lado interno do painel; * Massa de nivelamento e pintura interna.
PRAZO DE EXECUÇÃO:	PRAZO DE EXECUÇÃO:
26,5 meses	21,5 meses

(fonte: própria do autor).

Um aspecto a ser observado que se difere no planejamento de execução da obra com os sistemas de vedação tradicional e PPAC é a sequência dos serviços nos pavimentos. No sistema de vedação com blocos cerâmicos, a folga existente entre o término da obra bruta e o início da fina, proporcionada pela execução do revestimento externo com o uso de andaimes suspensos, é suficiente para que se faça uma inversão nos serviços: enquanto que todas as atividades da obra bruta ocorrem sucessivamente dos pavimentos inferiores aos superiores (seguindo a lógica da supraestrutura), as atividades da obra fina podem iniciar no último pavimento seguindo para os pavimentos inferiores. Isso possibilita a conclusão da obra de cima para baixo e também a entrega parcial de unidades habitacionais mais cedo, sendo esta uma vantagem potencial do sistema tradicional.

No sistema de vedação com painéis pré-fabricados, como a montagem dos PPAC ocorre também dos pavimentos inferiores para os superiores, seguindo a supraestrutura, não há folga entre a obra bruta e a fina, visto que a vedação da edificação ocorre no mesmo ritmo que os serviços da obra bruta vão sendo executados. Assim, para este sistema apresentar ganhos significativos nos prazos de execução, todas as atividades devem ocorrer dos pavimentos inferiores para os superiores na edificação, eliminando as folgas.

4.3 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Conforme já abordado no capítulo 3, a estimativa de custos é definida por Dias (2011) como um cálculo dinâmico utilizado na fase inicial de projeto para avaliação de um certo serviço. Para a sua determinação, foram utilizados todos os projetos disponíveis do empreendimento em questão, tornando possível a extração de quantitativos de materiais e o entendimento dos detalhes construtivos da fachada e da edificação como um todo. Com isso somado aos prazos retirados dos cronogramas desenvolvidos, foi possível estimar os custos de execução das fachadas com os sistemas de vedação em blocos cerâmicos e em PPAC.

Os custos foram subdivididos em custos diretos, os quais estão vinculados propriamente com a execução de um determinado serviço, podendo ser custos de materiais, mão-de-obra ou equipamentos, e em custos indiretos, os quais não estão diretamente vinculados à execução do serviço, mas são imprescindíveis para que o mesmo possa ser executado e têm um impacto relevante no valor total, tais como custos com administração da obra.

4.3.1 Custos diretos de construção

Os custos diretos de construção são geralmente calculados pelas composições de custos unitários, a qual pode ser definida pela quantidade de material, de tempo de uso de equipamentos e pelo número de horas de trabalhadores consumidos para a produção de cada unidade de um determinado serviço, multiplicados pelos seus custos unitários, incluindo encargos sociais no caso dos trabalhadores. Essas composições podem ser representadas por tabelas que detalham os diversos insumos utilizados na execução de um referido serviço, seus

coeficientes de utilização, e, para quantificação do serviço, o custo unitário de cada insumo (TISAKA, 2006).

Prioritariamente, foram utilizados, neste trabalho, dados da TCPO (Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos) e do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) que mais se encaixavam no projeto do empreendimento e nas composições de serviços utilizadas pela empresa construtora. Entretanto, em algumas particularidades, principalmente no que se refere aos equipamentos, foram considerados orçamentos e preços praticados no mercado local devido ao fato de não terem sido encontrados dados condizentes em tais referências.

Como o objetivo deste trabalho é avaliar comparativamente os custos referentes aos dois sistemas de vedação de fachadas, não foi considerada a etapa de colocação de esquadrias nos custos diretos de construção, nem o serviço de pintura interna das paredes da fachada, visto que estas etapas são necessárias para a execução de ambos os sistemas construtivos. Além disso, como o projeto inicial do empreendimento prevê uma fachada executada com o sistema de blocos cerâmicos, foi possível, através dos detalhamentos dos projetos arquitetônico e de alvenaria, avaliar quais insumos e serviços seriam necessários considerar nas composições do sistema tradicional.

4.3.1.1 Composição de custos diretos do sistema de vedação tradicional com blocos cerâmicos

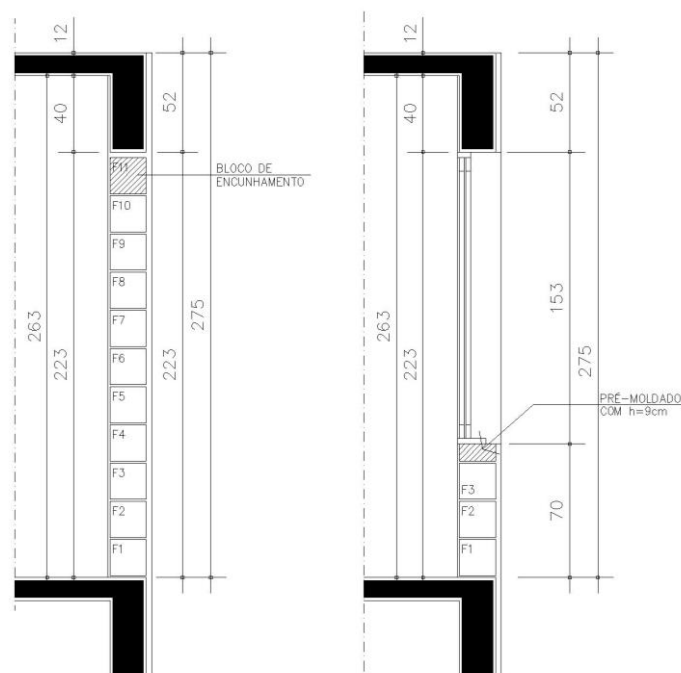
Para a composição dos custos unitários da tecnologia de vedação com blocos cerâmicos, foram adotados os seguintes serviços e equipamentos, organizados de acordo com suas etapas executivas dentro do planejamento de execução do sistema visto no item 4.2.1 deste mesmo capítulo:

- a) Alvenaria de vedação com blocos cerâmicos;
- b) Contraverga para vãos;
- c) Colocação e chumbeamento de contramarcos;
- d) Chapisco interno;
- e) Reboco interno;
- d) Andaimos suspensos;
- e) Chapisco externo;

- f) Reboco externo;
- g) Moldura em EPS;
- f) Execução de frisos no reboco;
- g) Peitoris;
- h) Pintura externa.

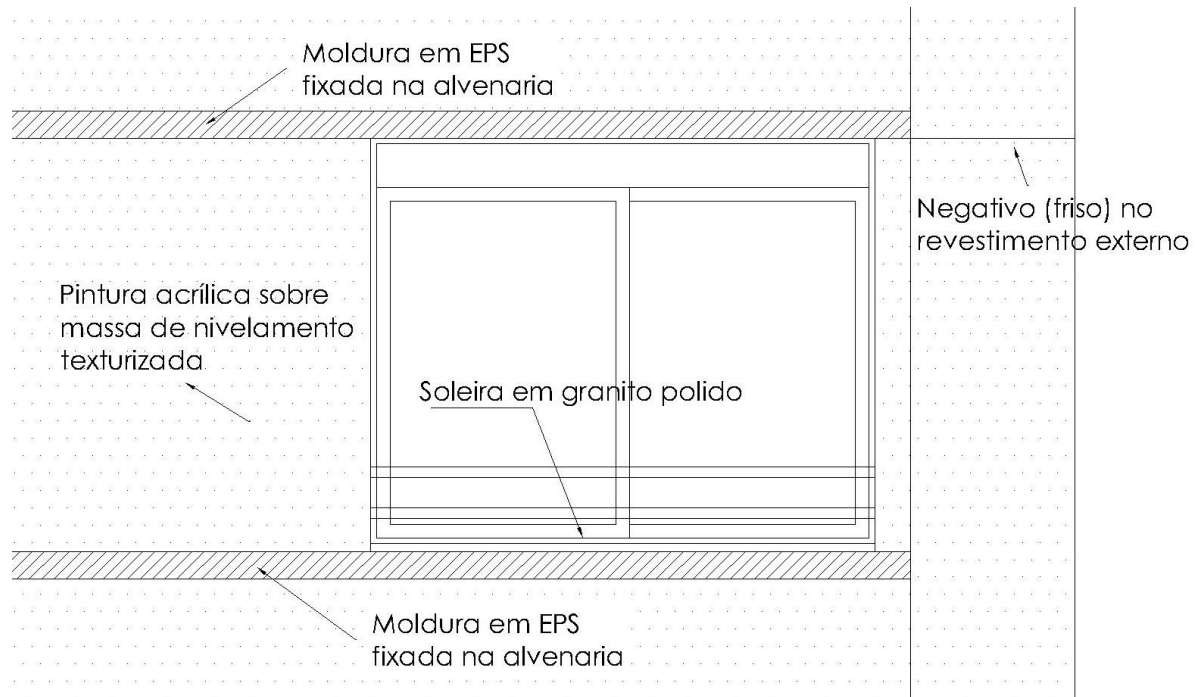
As **Figura 17** e **Figura 18** a seguir apresentam os detalhes extraídos dos projetos da edificação em estudo para a elaboração da composição de custos do sistema de vedação tradicional. Pode-se identificar, através delas, a forma como é prevista a fixação superior das paredes de alvenaria sem vãos, bem como o detalhe executivo para as paredes com aberturas. O projeto todo foi desenvolvido de maneira que as esquadrias fossem instaladas no limite inferior das vigas do perímetro da fachada, tornando dispensável a utilização de vergas. Portanto, para a composição de custos, foram consideradas somente contravergas nas aberturas das esquadrias.

Figura 17 - Detalhe genérico de paredes de alvenaria da fachada do empreendimento com e sem presença de vãos (medidas em centímetros)



(fonte: adaptado de Juliana Schettert Arquitetura e Design, 2017)

Figura 18 - Detalhe genérico de especificações da fachada



(fonte: adaptado de Juliana Schettert Arquitetura e Design, 2017)

Nos **Quadros 6 a 13** estão apresentadas as composições de custos unitários elaboradas para os diferentes serviços que compunham a execução do sistema de vedação de fachada tradicional com blocos cerâmicos.

Quadro 6 - Composição de custos unitários para o serviço de alvenaria de blocos cerâmicos (base: SINAPI 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Alvenaria de blocos	1,000	m²	R\$ 37,55	R\$ 39,46	R\$ 77,01
Tela de aço soldada galvanizada/zincada	0,420	m	R\$ 0,00	R\$ 2,45	R\$ 1,03
Pino de aço com furo	0,010	cento	R\$ 0,00	R\$ 43,29	R\$ 0,43
Bloco cerâmico de vedação 19x19x39 cm	13,600	Un.	R\$ 0,00	R\$ 2,00	R\$ 27,20
Argamassa de assentamento	0,014	m ³	R\$ 0,00	R\$ 391,66	R\$ 5,40
Pedreiro com encargos complementares	0,990	h	R\$ 18,64	R\$ 0,00	R\$ 18,45
Servente com encargos complementares	0,495	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 7,61
Bloco de encunhamento	11,200	Un.	R\$ 0,00	R\$ 0,31	R\$ 3,47
Argamassa de encunhamento	0,005	m ³	R\$ 0,00	R\$ 369,88	R\$ 1,92
Pedreiro com encargos complementares	0,529	h	R\$ 18,64	R\$ 0,00	R\$ 9,86
Servente com encargos complementares	0,106	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 1,63

(fonte: própria do autor)

Quadro 7 - Composição de custos unitários para colocação de contravergas (base: SINAPI 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Contravergas	1,000	m	R\$ 5,04	R\$ 22,17	R\$ 27,21
Desmoldante para formas	0,007	l	R\$ 0,00	R\$ 5,85	R\$ 0,04
Espaçador	6,000	Un.	R\$ 0,00	R\$ 0,09	R\$ 0,54
Argamassa para assentamento	0,002	m ³	R\$ 0,00	R\$ 369,88	R\$ 0,70
Pedreiro com encargos complementares	0,068	h	R\$ 18,64	R\$ 0,00	R\$ 1,27
Servente com encargos complementares	0,094	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 1,44
Fabricação de Fôrmas	0,213	m ²	R\$ 9,34	R\$ 51,70	R\$ 13,00
Corte e dobra de aço	0,490	kg	R\$ 0,68	R\$ 4,78	R\$ 2,68
Concreto FCK 20 Mpa	0,024	m ³	R\$ 0,00	R\$ 314,05	R\$ 7,54

(fonte: própria do autor)

Quadro 8 - Composição de custos unitários para fabricação, colocação e chumbação de contramarcos (base: práticas locais de 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Fabricação e colocação de contramarcos	1,000	un.	R\$ 69,50	R\$ 0,00	R\$ 69,50
Chumbação de contramarcos	1,000	un.	R\$ 23,00	R\$ 4,50	R\$ 27,50
Mão de obra chumbação de contramarcos	1,000	un.	R\$ 23,00	R\$ 0,00	R\$ 23,00
Cimento Portland CPIV	4,950	Kg	R\$ 0,00	R\$ 0,78	R\$ 3,86
Areia média	0,012	m ³	R\$ 0,00	R\$ 52,00	R\$ 0,64

(fonte: própria do autor)

Quadro 9 - Composição de custos unitários para os serviços de chapisco e reboco interno (base: SINAPI 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Chapisco Interno Rolado	1,000	m²	R\$ 0,85	R\$ 5,59	R\$ 6,44
Argamassa industrializada para chapisco rolado	0,002	m ³	R\$ 0,00	R\$ 3.727,85	R\$ 5,59
Pedreiro com encargos complementares	0,042	h	R\$ 18,64	R\$ 0,00	R\$ 0,78
Servente com encargos complementares	0,004	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 0,06
Reboco Interno	1,000	m²	R\$ 8,83	R\$ 29,01	R\$ 37,84
Argamassa industrializada para revestimentos	0,038	m ³	R\$ 0,00	R\$ 771,66	R\$ 29,01
Pedreiro com encargos complementares	0,430	h	R\$ 18,64	R\$ 0,00	R\$ 8,02
Servente com encargos complementares	0,053	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 0,81

(fonte: própria do autor)

Quadro 10 - Composição de custos unitários para os serviços de chapisco e reboco externo (base: SINAPI 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Chapisco Externo	1,000	m²	R\$ 7,69	R\$ 8,95	R\$ 16,64
Argamassa industrializada para chapisco colante	0,003	m ³	R\$ 0,00	R\$ 2.796,32	R\$ 8,95
Pedreiro com encargos complementares	0,292	h	R\$ 18,64	R\$ 0,00	R\$ 5,44
Servente com encargos complementares	0,146	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 2,24
Reboco Externo	1,000	m²	R\$ 27,55	R\$ 42,45	R\$ 70,00
Tela de aço soldada galvanizada/zincada	0,139	m ²	R\$ 0,00	R\$ 12,29	R\$ 1,71
Argamassa industrializada para revestimentos	0,053	m ³	R\$ 0,00	R\$ 771,66	R\$ 40,74
Pedreiro com encargos complementares	0,810	h	R\$ 18,64	R\$ 0,00	R\$ 15,10
Servente com encargos complementares	0,810	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 12,45

(fonte: própria do autor)

Quadro 11 - Composição de custos unitários para o serviço de colocação de peitoris (base: SINAPI 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Peitoril	1,000	m	R\$ 22,95	R\$ 84,48	R\$ 107,43
Peitoril em granito 25 cm	1,000	m	R\$ 0,00	R\$ 84,35	R\$ 84,35
Graniteiro com encargos complementares	0,600	h	R\$ 22,88	R\$ 0,00	R\$ 13,73
Servente com encargos complementares	0,600	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 9,22
Argamassa Colante AC III	0,110	kg	R\$ 0,00	R\$ 1,22	R\$ 0,13

(fonte: própria do autor)

Quadro 12 - Composição de custos unitários para o serviço de pintura externa na fachada (base: SINAPI 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Pintura Externa	1,000	m²	R\$ 12,99	R\$ 13,02	R\$ 26,02
Selador Acrílico	0,160	l	R\$ 0,00	R\$ 5,55	R\$ 0,89
Mão de Obra Selador Acrílico	0,047	h	R\$ 18,56	R\$ 0,00	R\$ 0,87
Textura Externa	1,140	kg	R\$ 0,00	R\$ 5,74	R\$ 6,54
Mão de Obra Revestimento Texturado	0,188	h	R\$ 18,56	R\$ 0,00	R\$ 3,49
Tinta acrílica 3 demãos	0,300	l	R\$ 0,00	R\$ 18,64	R\$ 5,59
Mão de Obra Pintura Acrílica Externa	0,465	h	R\$ 18,56	R\$ 0,00	R\$ 8,63

(fonte: própria do autor)

Quadro 13 - Composição de custos unitários para o serviço de colocação de molduras em EPS na fachada (base: práticas locais de 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Moldura em EPS	1,000	m	R\$ 20,00	R\$ 25,00	R\$ 45,00
Moldura em EPS	1,000	m	R\$ 0,00	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Mão de obra colocação de molduras	1,000	m	R\$ 20,00	R\$ 0,00	R\$ 20,00

(fonte: própria do autor)

Para a elaboração da composição de custos do serviço referente aos andaimes suspensos necessários para a execução do revestimento externo da edificação, foi considerada a análise feita no item 4.2.1 para o planejamento através da elaboração da setorização de andaimes demonstrada na **Figura 11**. Paralelamente, foram extraídos dados do cronograma elaborado e montado um quadro resumo com as datas dos serviços realizados externamente na fachada para cada uma das frentes de execução consideradas, cada uma com seis pedreiros, e, portanto, seis balancins.

Quadro 14 - Resumo dos serviços realizados externamente na fachada e seus respectivos períodos de duração

	1ª Frente	2ª Frente	3ª Frente	4ª Frente	5ª Frente	6ª Frente
	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS	6 PEDREIROS
Andaimes 5 e 6 metros	POS 05 →	POS 06 →	POS 09 →	POS 10 →	POS 11 →	POS 04
	POS 18 →	POS 17 →	POS 14 →	POS 13 →	POS 12 →	POS 19
	POS 23 →	POS 24 →	POS 27 →	POS 28 →	POS 29 →	POS 22
	POS 36 →	POS 35 →	POS 32 →	POS 31 →	POS 30 →	POS 01
Andaimes 2 e 3 metros	POS 02 →	POS 03 →	POS 07 →	POS 08 →	POS 34 →	POS 33
	POS 20 →	POS 21 →	POS 16 →	POS 15 →	POS 25 →	POS 26
Montagem	06/02/20 - 13/02/20	25/02/20 - 03/03/20	13/03/20 - 20/03/20	01/04/20 - 08/04/20	20/04/20 - 27/04/20	07/05/20 - 14/05/20
Chapisco	13/02/20 - 18/02/20	03/03/20 - 06/03/20	20/03/20 - 25/03/20	08/04/20 - 13/04/20	27/04/20 - 30/04/20	14/05/20 - 19/05/20
Revestimento	18/02/20 - 25/02/20	06/03/20 - 13/03/20	25/03/20 - 01/04/20	13/04/20 - 20/04/20	30/04/20 - 07/05/20	19/05/20 - 26/05/20
Peitoril	25/02/20 - 03/03/20	13/03/20 - 20/03/20	01/04/20 - 08/04/20	20/04/20 - 27/04/20	07/05/20 - 14/05/20	-
Golas	03/03/20 - 06/03/20	20/03/20 - 25/03/20	08/04/20 - 13/04/20	27/04/20 - 30/04/20	14/05/20 - 19/05/20	-
Esquadrias	06/03/20 - 13/03/20	25/03/20 - 01/04/20	13/04/20 - 20/04/20	30/04/20 - 07/05/20	19/05/20 - 26/05/20	-
Pintura	24/03/20 - 14/04/20	10/04/20 - 01/05/20	29/04/20 - 20/05/20	18/05/20 - 08/06/20	04/06/20 - 25/06/20	23/06/20 - 14/07/20

(fonte: própria do autor)

Foram consideradas as montagens dos equipamentos, trocas de posição, desmontagens, locações mensais, assim como o custo com o deslocamento de equipe e equipamentos necessários para a realização de tais serviços; estes custos foram retirados de práticas locais de mercado, visto que não foram encontradas na TCPO e no SINAPI composições que se assemelhassem com as usualmente praticadas.

A partir das informações do **Quadro 14**, pode-se perceber que é necessária a montagem de seis andaimes suspensos para a execução do reboco externo, sendo que cada um deles deve ser trocado de posição cinco vezes até que todas as prumadas sejam revestidas, totalizando trinta trocas; da mesma forma ocorre para o serviço de pintura externa. Os serviços de colocação de peitoris, pintura das aberturas (golas) e colocação de esquadrias ocorre pelo interior da edificação, sem balancins. Assim, os andaimes suspensos são trocados de posição

após o término do revestimento, e posteriormente instalados novamente para a execução da pintura externa.

Foram considerados ainda aproximadamente quatro meses de locação para cada um dos doze balancins disponíveis em obra (seis para o serviço de revestimento de argamassa e seis para o serviço de pintura), visto que este é o prazo de duração dos serviços de revestimento e pintura externa. Referente à quantidade de vezes necessária que a equipe prestadora do serviço deve se deslocar à obra para a realização de serviços, foram considerados os dias adotados no cronograma para a montagem de cada uma das frentes de balancins, incluindo suas trocas de posições, totalizando 60 dias. O **Quadro 15** abaixo mostra a composição de custos elaborada para o serviço de montagem e desmontagem de andaimes suspensos.

Quadro 15 - Composição de custos para o serviço de montagens e desmontagens de andaimes suspensos (base: práticas locais de 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Andaimes Suspensos	1,000	vb	R\$ 47.160,00	R\$ 43.200,00	R\$ 90.360,00
Montagens	12,000	Un.	R\$ 290,00	R\$ 0,00	R\$ 3.480,00
Locação Mensal (R\$ 900,00 por andaime)	4,000	mês	R\$ 0,00	R\$ 10.800,00	R\$ 43.200,00
Trocas de posição	60,000	Un.	R\$ 290,00	R\$ 0,00	R\$ 17.400,00
Desmontagens	12,000	Un.	R\$ 190,00	R\$ 0,00	R\$ 2.280,00
Fretes	60,000	dia	R\$ 400,00	R\$ 0,00	R\$ 24.000,00

(fonte: própria do autor)

4.3.1.2 Composição de custos diretos do sistema de vedação com Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto

Conforme já mencionado anteriormente, o sistema construtivo com PPAC é constituído por um número reduzido de etapas a serem realizadas no canteiro de obras. Geralmente, os painéis pré-fabricados são fornecidos juntamente com um serviço completo que engloba projeto de paginação e fixação, fabricação, transporte e montagem dos painéis, que juntos constituem um preço total pela contratação do sistema. Como se trata de uma técnica construtiva específica que abrange diversos serviços, não são encontrados na TCPO ou no SINAPI composições que se aproximem das praticadas no mercado. Portanto, o item das composições relacionado aos PPAC foi estimado baseado em pesquisas de mercado e também em proposta técnica elaborada por empresa prestadora do serviço.

Além disto, foram considerados nas composições de custos unitários os seguintes serviços e equipamentos, necessários para a execução do sistema de vedação com PPAC:

- a) Parede de gesso acartonado (vedação do lado interno do painel);
- b) Compartimentação entre pavimentos com lâ de rocha;
- c) Instalação e serviços de grua para içamento e montagem dos painéis.

Os **Quadro 16** e **Quadro 17** a seguir apresentam as composições de custos unitários elaboradas para os serviços de vedação do lado interno dos painéis com gesso acartonado, bem como de compartimentação entre pavimentos com lâ de rocha:

Quadro 16 - Composição de custos unitários para o serviço de gesso acartonado realizado no lado interno do painel de fachada (base: SINAPI 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Parede simples de gesso acartonado	1,000	m²	R\$ 12,66	R\$ 47,66	R\$ 60,32
Pino de aço	0,024	cento	R\$ 0,00	R\$ 50,34	R\$ 1,22
Chapa de Gesso Acartonado ST 12,5x1200x2620	1,179	m ²	R\$ 0,00	R\$ 20,49	R\$ 24,17
Guia 70 mm x 3000 mm	0,760	m	R\$ 0,00	R\$ 4,76	R\$ 3,62
Montante 70 mm x 3000 mm	1,990	m	R\$ 0,00	R\$ 5,40	R\$ 10,75
Fita Papel para Juntas	2,503	m	R\$ 0,00	R\$ 0,23	R\$ 0,58
Fita Metálica para cantos	0,741	m	R\$ 0,00	R\$ 3,03	R\$ 2,24
Massa de rejunte em pó	1,033	kg	R\$ 0,00	R\$ 4,07	R\$ 4,20
Parafuso TA-25	20,000	Un.	R\$ 0,00	R\$ 0,04	R\$ 0,80
Parafuso LA	0,808	Un.	R\$ 0,00	R\$ 0,10	R\$ 0,08
Montador de estrutura metálica com encargos	0,545	h	R\$ 19,39	R\$ 0,00	R\$ 10,57
Servente com encargos complementares	0,136	h	R\$ 15,37	R\$ 0,00	R\$ 2,09

(fonte: própria do autor)

Quadro 17 - Composição de custos unitários para o serviço de compartimentação entre pavimentos realizados no perímetro da fachada (base: SINAPI 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total	% Part.
			MO	MAT		
Lã de rocha entre pavimentos	1,000	m	R\$ 1,32	R\$ 18,79	R\$ 20,11	100%
Feltro em Lã de rocha	1,000	m ²	R\$ 0,00	R\$ 18,79	R\$ 18,79	93,4%
Montador de estrutura metálica com encargos	0,068	h	R\$ 19,39	R\$ 0,00	R\$ 1,32	6,6%

(fonte: própria do autor)

Para a composição dos custos de instalação da grua necessária para o içamento e montagem dos painéis pré-fabricados na fachada, foram considerados orçamentos locais devido à inexistência de composições semelhantes na TCPO e no SINAPI. Estes orçamentos englobam os custos com todos os serviços necessários para a instalação da grua, desde a mobilização da

equipe prestadora do serviço, até a utilização de guindastes auxiliares para a montagem e desmontagem do equipamento.

O período adotado que a grua esteja disponível em obra foi retirado do cronograma elaborado ainda no estudo de planejamento de prazo de execução, tendo sido considerado que a mesma fosse montada após concluídas as fundações do empreendimento, e desmontada após ter sido vedada com PPAC a prumada do elevador cremalheira da edificação. Para a composição dos custos unitários dos serviços de grua, foram considerados os custos horários produtivos, ou seja, custo por hora de utilização do equipamento, e os custos horários improdutivo, definidos como os custos do equipamento quando parado à disposição da produção. O **Quadro 18** apresenta as composições adotadas para os serviços de instalação e operação da grua.

Quadro 18 - Composição de custos unitários para os serviços de instalação e operação da grua utilizada para o içamento e montagem dos PPAC (base: SINAPI e práticas locais de 2018)

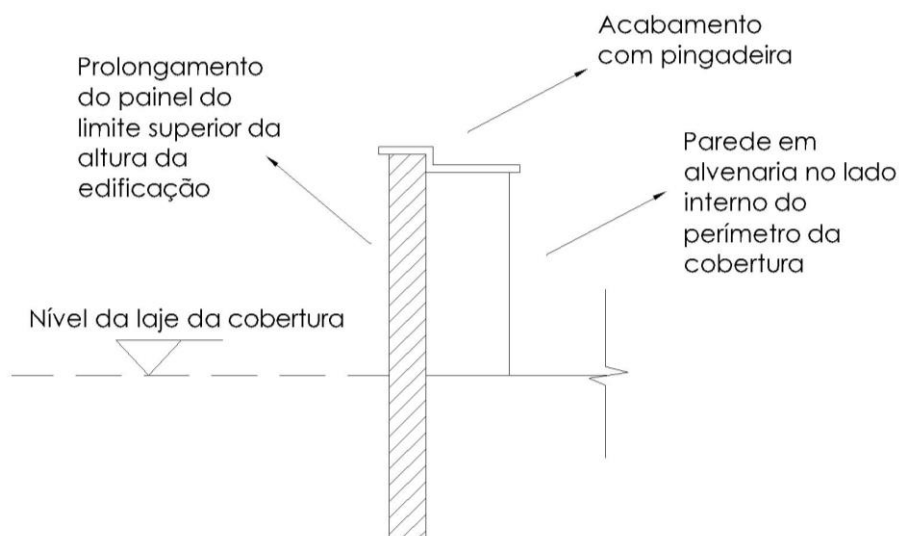
SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Serviços de Grua	1,000	mês	R\$ 4.816,50	R\$ 12.624,08	R\$ 17.440,59
Custos Horários Produtivos					
Operador de Grua	193,600	h	R\$ 22,34	R\$ 0,00	R\$ 4.325,02
Depreciação	193,600	h	R\$ 0,00	R\$ 23,83	R\$ 4.613,49
Juros	193,600	h	R\$ 0,00	R\$ 5,36	R\$ 1.037,70
Manutenção	193,600	h	R\$ 0,00	R\$ 26,07	R\$ 5.047,15
Materiais na Operação	193,600	h	R\$ 0,00	R\$ 6,63	R\$ 1.283,57
Custos Horários Improdutivo					
Operador de Grua	22,000	h	R\$ 22,34	R\$ 0,00	R\$ 491,48
Depreciação	22,000	h	R\$ 0,00	R\$ 23,83	R\$ 524,26
Juros	22,000	h	R\$ 0,00	R\$ 5,36	R\$ 117,92
Instalação de Grua	1,000	vb	R\$ 31.990,00	R\$ 71.000,00	R\$ 90.290,00
Mobilização / desmobilização	1	vb	R\$ 10.290,00	R\$ 0,00	R\$ 10.290,00
Equipe de montagem / desmontagem	1	vb	R\$ 12.000,00	R\$ 0,00	R\$ 12.000,00
Telescopagem Prevista (ascensão / descida)	1	vb	R\$ 8.000,00	R\$ 0,00	R\$ 8.000,00
Ancoragem Prevista (padrão)	1	vb	R\$ 0,00	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Chumbador	1	vb	R\$ 0,00	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Guindaste auxiliar (montagem / desmontagem)	1	vb	R\$ 0,00	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00

(fonte: própria do autor)

4.3.1.3 Comparativo dos custos diretos totais de construção

Após feita a análise dos projetos e dos procedimentos de execução dos serviços das duas técnicas de vedação, constatou-se que as diferenças entre os sistemas construtivos se encontram não só na fachada dos pavimentos tipo em si, como também na platibanda da periferia da laje da cobertura do último pavimento. No sistema convencional com blocos cerâmicos, a platibanda é executada em alvenaria de blocos cerâmicos com pilaretes e cintas de amarração em concreto armado. Já no sistema com PPAC, os painéis posicionados no limite superior da altura da edificação ultrapassam o nível da laje de cobertura, fazendo o papel da platibanda; porém, devido a espessura dos painéis ser pequena, é comum executar uma parede de alvenaria juntamente dos painéis da periferia da cobertura para o recebimento de posterior acabamento com pingadeiras, conforme exemplificado na **Figura 19** abaixo.

Figura 19 - Detalhe genérico do acabamento da platibanda da periferia da laje da cobertura no sistema de vedação com PPAC



(fonte: própria do autor)

Com o objetivo de facilitar a extração de quantitativos e a elaboração dos custos totais diretos de construção para ambos os sistemas de vedação de fachada, foi feita uma segmentação da edificação em dois setores distintos, conforme ilustrado na **Figura 20**. Com isso foi possível extrair inicialmente os quantitativos da fachada de um pavimento tipo apenas, obtendo, por igualdade, o total da fachada da edificação. Também foi considerada a diferença da platibanda na periferia da laje de cobertura demonstrada acima.

Figura 20 - Trecho de fachada com indicação dos setores utilizados na extração de quantitativos



(fonte: adaptado de Juliana Schettert Arquitetura e Design, 2017)

Para a correta obtenção dos quantitativos de materiais e mão-de-obra envolvidos na execução de cada um dos serviços constituintes dos sistemas de vedação, foram definidos alguns critérios de medição relacionados a detalhes construtivos dos projetos e também a práticas comuns de mercado, os quais seguem:

- a) Altura total de um pavimento tipo (incluindo laje de 12 cm) = 2,75 metros;
- b) Altura interna de um pavimento tipo (até o teto) = 2,63 metros;
- b) Altura da viga do perímetro da fachada = 0,52 metros;
- c) Altura para a alvenaria da fachada de um pavimento tipo = 2,23 metros;
- d) Altura para o chapisco e reboco externo de um pavimento tipo = 2,75 metros;
- e) Altura considerada para o reboco interno de um pavimento tipo = 2,63 metros;
- f) Considerado chapisco interno rolado nas faces da estrutura (pilares e vigas);
- g) Considerado chapisco externo em toda área de fachada;
- h) Altura média da platibanda no sistema convencional = 1,33 metros;
- i) Considerada cinta de concreto armado no perímetro da platibanda da cobertura, com pilaretes a cada 3 metros;
- j) Altura da platibanda de alvenaria no sistema PPAC = 0,60 metros;
- h) Altura da estrutura metálica do lado interno dos painéis = 2,23 metros;
- i) Altura das placas de gesso acartonado no lado interno dos painéis = 2,63 metros;
- j) Descontados todos os vãos para os quantitativos de materiais;

A tabela utilizada para o cálculo das quantidades totais de materiais e mão-de-obra de cada serviço considerado na elaboração da estimativa de custos dos sistemas de vedação com blocos cerâmicos e PPAC se encontra detalhada no **Apêndice C** deste trabalho.

A fins de abranger o maior grau de detalhamento possível para as diferenças existentes entre os dois sistemas de vedação de fachadas, foram identificados, juntamente com profissionais do ramo da engenharia civil, outros serviços que podem influenciar nos custos diretos de construção de ambas as técnicas construtivas, fachada em alvenaria de blocos cerâmicos e em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto.

Conforme já mencionado ao longo deste trabalho, o transporte vertical de materiais no canteiro de obras é feito através de um elevador cremalheira em ambos os sistemas construtivos. Mesmo no caso de execução da fachada do empreendimento com PPAC, a grua disponível na obra tem seu uso restringido ao içamento e montagem dos painéis, de maneira a garantir a produtividade necessária para que o sistema forneça ganhos consideráveis de prazos de execução.

Os custos de transporte dos equipamentos do elevador cremalheira, bem como de montagem e desmontagem dele são iguais em ambos os métodos construtivos, e por isso não relevantes para este estudo comparativo. Entretanto, os gastos com a locação e as inspeções preventivas mensais necessárias para a bom funcionamento do elevador têm significativa diferença e importância para este trabalho, visto que o planejamento físico de execução da obra para ambos os sistemas de vedação resultou em uma diferença de prazo de 5 meses. Assim, foram pesquisados no cenário local os valores usualmente gastos com estes serviços, os quais estão apresentados no **Quadro 19**.

Quadro 19 - Composição de custos unitários para os serviços de elevador cremalheira (base: práticas locais de 2018)

SERVIÇOS / INSUMOS	Qtde.	Un.	Valor Unit.		Valor total
			MO	MAT	
Elevador Cremalheira	1,000	mês	R\$ 1.700,00	R\$ 11.000,00	R\$ 12.700,00
Inspeção preventiva mensal	1	mês	R\$ 1.700,00	R\$ 0,00	R\$ 1.700,00
Locação Mensal	1	mês	R\$ 0,00	R\$ 11.000,00	R\$ 11.000,00

(fonte: própria do autor)

Os custos diretos totais de construção estão detalhados no **Apêndice D** deste trabalho. O valor unitário do item 1 referente ao sistema de vedação com painéis pré-fabricados arquitetônicos

de concreto foi retirado de uma proposta técnica elaborada por uma empresa prestadora do serviço, e nele já estão inclusos os custos com projeto de paginação dos painéis, fabricação e transporte dos mesmos até a obra, fornecimento de ancoragens a serem posicionadas na estrutura para posterior fixação, montagem dos painéis e tratamento das juntas. O **Quadro 20** abaixo apresenta resumidamente os custos envolvidos na execução de ambos os sistemas de vedação para o empreendimento.

Quadro 20 - Quadro resumo dos custos diretos de construção dos sistemas de vedação

	Fachada Convencional	PPAC
CUSTO TOTAL	R\$ 2.415.718,86	R\$ 5.408.949,40
CUSTO TOTAL / m² de fachada	R\$ 264,19	R\$ 591,54

(fonte: própria do autor)

Pode-se perceber que os valores encontrados são coerentes com os propostos por Medeiros *et al.* (2014), analisados no **Quadro 1**, tornando a estimativa desenvolvida neste trabalho bastante satisfatória. A margem de erro entre os valores pode ser explicada pelo grau de detalhamento dos itens abordados em ambos estudos, podendo este ser diferente.

4.3.2 Custos indiretos de construção

Os custos indiretos de construção podem ser compreendidos como um somatório de todos os gastos coadjuvantes necessários para a execução da obra como um produto final, ou ainda como gastos de difícil alocação a uma atividade específica, sendo por isso alocados a um grupo de serviços ou mesmo ao projeto como um todo. De maneira ainda mais genérica, os custos indiretos podem ser definidos como aqueles que diretamente não agregam valor ao produto final (LIMMER, 1997).

Pelo fato de não serem atribuídos a serviços específicos de produção, muitas vezes os custos indiretos não são considerados nos estudos de viabilidade realizados para a implantação de novas tecnologias construtivas, o que distorce a realidade e faz com que tais inovações sejam vistas como negativas desde o princípio devido aos elevados custos de materiais e mão de obra que geralmente demandam pela alta especialização quando comparadas às técnicas tradicionais.

Diversos destes custos indiretos têm sua magnitude influenciada pelo tempo de duração da obra, uma vez que são despesas fixas mensais necessárias à execução da mesma, e por isso podem ter impacto distinto nos custos totais quando da utilização de uma técnica construtiva ou outra, levando em conta a produtividade de cada uma delas. No caso deste estudo, onde é comparada uma técnica de vedação de fachada tradicional, que demanda uma quantidade grande de atividades a serem executadas no canteiro de obras, com outra industrializada, onde boa parte dos serviços constituintes já vêm executados de fábrica, a diferença de prazo de execução da obra chegou próxima a meio ano.

Podemos envolver nestes custos indiretos mensais aqueles relacionados ao pagamento da equipe responsável pela execução e administração da obra, constituída pelos engenheiros, mestres, encarregados, almoxarifes, apontadores, estagiários, vigias, higienizadores, entre outros, bem como ao consumo de energia elétrica, água, telefone, materiais de limpeza e de escritório, etc. A equipe administrativa da obra varia com o tamanho e grau de complexidade do projeto em questão, sendo que o seu dimensionamento e estimativa de custos ainda na fase que antecede a execução geralmente se baseiam em parâmetros históricos obtidos através de análises de obras semelhantes.

Outro fator impactante nos custos indiretos de uma obra é o descarte de resíduos, que quase diariamente se faz necessário e envolve, além dos problemas com sustentabilidade, gastos com mão-de-obra para limpeza do canteiro e transporte de caçambas entulho. Quanto mais atividades realizadas no canteiro de obras, tanto atividades de produção quanto de fluxo, maior é o índice de perdas do processo construtivo. Assim, um sistema de vedação com blocos cerâmicos e revestimentos em argamassa tende a ter uma quantidade de perdas significativamente maior que um sistema de vedação pré-fabricado.

Levando em conta os índices de perdas atribuídos por Lordsleem Jr. (2012) e os quantitativos de materiais extraídos no **Apêndice C** deste trabalho para os processos de execução de alvenaria de blocos cerâmicos e revestimentos de argamassa, foi possível estimar a quantidade de resíduos gerados pelo sistema de vedação tradicional e calcular os gastos envolvidos no seu descarte.

Considerando que um servente possa efetuar a limpeza e o descarte de 3 giricas de 100 litros em uma hora de trabalho, estimou-se a quantidade de horas gastas para descartar toda a

quantidade de resíduos gerada ao longo do processo construtivo. Além disso, o valor local praticado para o transporte de uma caçamba entulho de 4 metros cúbicos de resíduos é aproximadamente R\$ 180,00. O **Quadro 21** e **Quadro 22** apresentam esta análise e os valores encontrados.

Embora os valores não sejam tão impactantes frente aos custos totais envolvidos na construção de um empreendimento, é válido acrescentar que além das perdas materiais envolvidas em um sistema de vedação tradicional, também existem perdas temporais devido a atividades que não agregam valor ao longo da execução da obra e que são difíceis de quantificar em custos neste estudo. Estes bens intangíveis proporcionados por sistemas de vedação que reduzem a quantidade de atividades realizadas no local serão abordados no capítulo sobre logística de canteiro de obras.

Quadro 21 - Cálculo das perdas materiais de blocos cerâmicos e argamassa industrializada do sistema tradicional

	Área (m ²)	Espessura (m)	Volume (m ³)	Perdas (%)	Perdas (m ³)
Alvenaria de Blocos Cerâmicos	4039,4	0,19	767,5	3,6%	27,6
Revestimento Externo	7460,6	0,045	335,7	8,5%	28,5
Revestimento Interno	6394,3	0,025	159,9	8,5%	13,6
TOTAL					69,8

(fonte: própria do autor)

Quadro 22 - Estimativa de custos com descarte de resíduos de blocos cerâmicos e argamassa

Perdas (m³)	69,8
Qtd. de Caçambas Entulho 4 m³	18
Qtd. de Giricas 100 litros	698
Qtd. de Horas Gastas para descarte (3 giricas por hora)	233
Gasto por Hora (servente com encargos)	R\$ 15,37
Gasto por Caçamba Entulho	R\$ 180,00
Gasto com mão-de-obra	R\$ 3.576,09
Gasto com material e transporte	R\$ 3.240,00
TOTAL	R\$ 6.816,09

(fonte: própria do autor)

De maneira complementar, ainda pode ser destacado como custos indiretos de construção os valores gastos com juros em financiamento das obras. O tamanho e o grau de complexidade dos projetos têm aumentado ao longo do tempo, fazendo com que seja necessário um investimento muito alto para a construção das edificações. Como forma de minimizar estes

custos, é comum financiar um percentual do valor total a uma determinada taxa de juros mensal ao longo do tempo de duração da obra. Consequentemente, quanto mais rápida a mesma puder ser executada, menor tende a ser a despesa financeira com estas taxas de juros de financiamento.

Tanto as despesas financeiras citadas acima quanto as administrativas referente ao dimensionamento de equipes de obra e consumos mensais de água, luz e energia requerem uma experiência e conhecimento técnico que fogem do escopo deste trabalho, sendo muitas vezes específicas de cada empresa e projeto. Por isto, optou-se por não calcular estes custos a fins de não distorcer os resultados finais, nem prejudicar a análise do restante do trabalho. Este tópico teve como objetivo ponderar os diferentes custos indiretos que podem impactar em um estudo de viabilidade de uma nova tecnologia construtiva, minimizando, muitas vezes, os elevados custos diretos e de fácil visualização que um sistema pode apresentar.

4.4 LOGÍSTICA E *LAYOUT* DO CANTEIRO DE OBRAS

O estudo da logística do canteiro de obras para a execução do empreendimento com ambos os sistemas de vedação de fachada é imprescindível para compreender como as atividades funcionam a partir da disposição dos depósitos de materiais e equipamentos de movimentação. O arranjo de um canteiro de obras consiste em uma das partes mais importantes do planejamento, pois permite otimizar os fluxos envolvidos na execução das diversas atividades, de maneira que estes sejam os menores possíveis (LIMMER, 1997).

O modelo da construção enxuta sugere que um processo consista em um fluxo de materiais, desde a matéria prima até o produto final, sendo o mesmo constituído por atividades de transporte, espera, processamento e inspeção. As atividades de transporte, espera e inspeção são consideradas atividades de fluxo, pois não agregam valor ao produto final (ISATTO *et al.*, 2000). O conceito de geração de valor está associado ao grau de satisfação do cliente; assim, não necessariamente uma atividade de processamento agrega valor ao produto final, visto que esta pode ter sido realizada sem que sejam atendidas as especificações exigidas, havendo necessidade de retrabalhos.

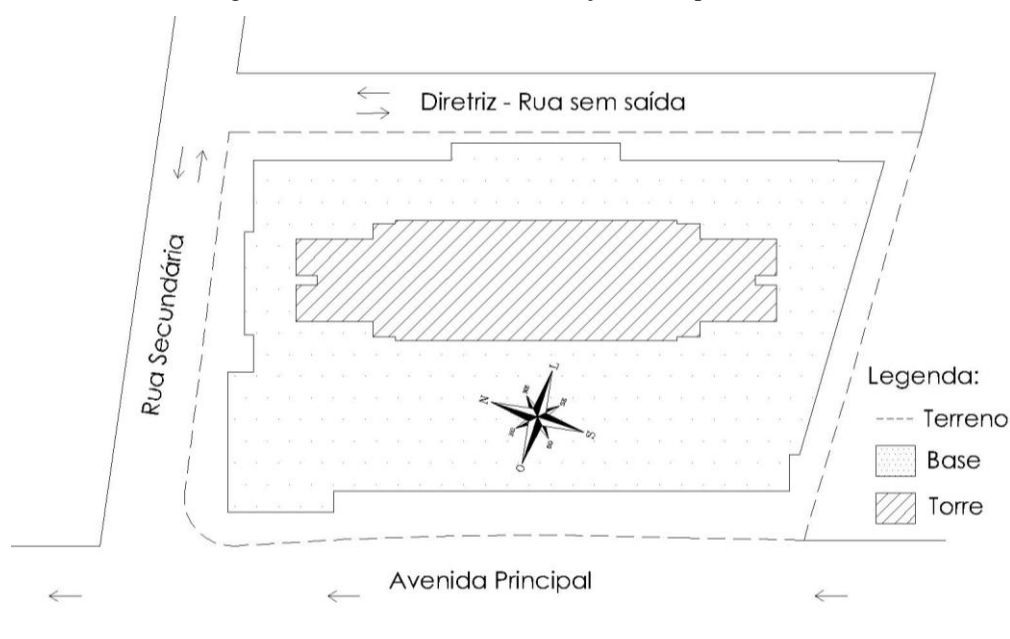
Quanto maior o número de componentes ou de passos num processo, maior tende a ser o número de atividades que não agregam valor ao produto devido ao grande número de tarefas auxiliares de preparação e finalização das etapas, como é o caso das montagens de andaimes suspensos, preparação de argamassas, limpeza, entre outras. Além disso, quanto mais atividades auxiliares são necessárias para a execução de um serviço, maior é o número de trabalhadores envolvidos e a possibilidade de haver interferência entre diferentes equipes e fluxos de trabalho.

As linhas de balanço utilizadas no estudo de planejamento e estimativa de prazos de execução dos sistemas de vedação de fachada são úteis para a observância dos ritmos de trabalho, tamanho dos lotes e interferência entre equipes multidisciplinares, bem como para avaliar as consequências a longo prazo de possíveis mudanças no planejamento de execução dos serviços. Todavia, elas não conseguem abranger o problema dos fluxos logísticos envolvidos no decorrer das operações, o que corrobora a necessidade de um estudo do *layout* do canteiro de obras.

4.4.1 Vedação tradicional com blocos cerâmicos

Conforme ilustrado na **Figura 21**, o empreendimento em questão está localizado em duas esquinas, uma delas entre uma avenida principal e uma rua secundária, e outra entre a rua secundária e uma diretriz de um loteamento cuja rua não tem saída. Além disso, a edificação possui uma taxa de ocupação elevada em relação ao terreno devido à base que possui até o terceiro pavimento. Esta situação torna difícil a alocação de depósitos de materiais e o tráfego de pessoas nas regiões não construídas do terreno após executada a supraestrutura da edificação.

Figura 21 - Planta baixa de localização do empreendimento



(fonte: própria do autor)

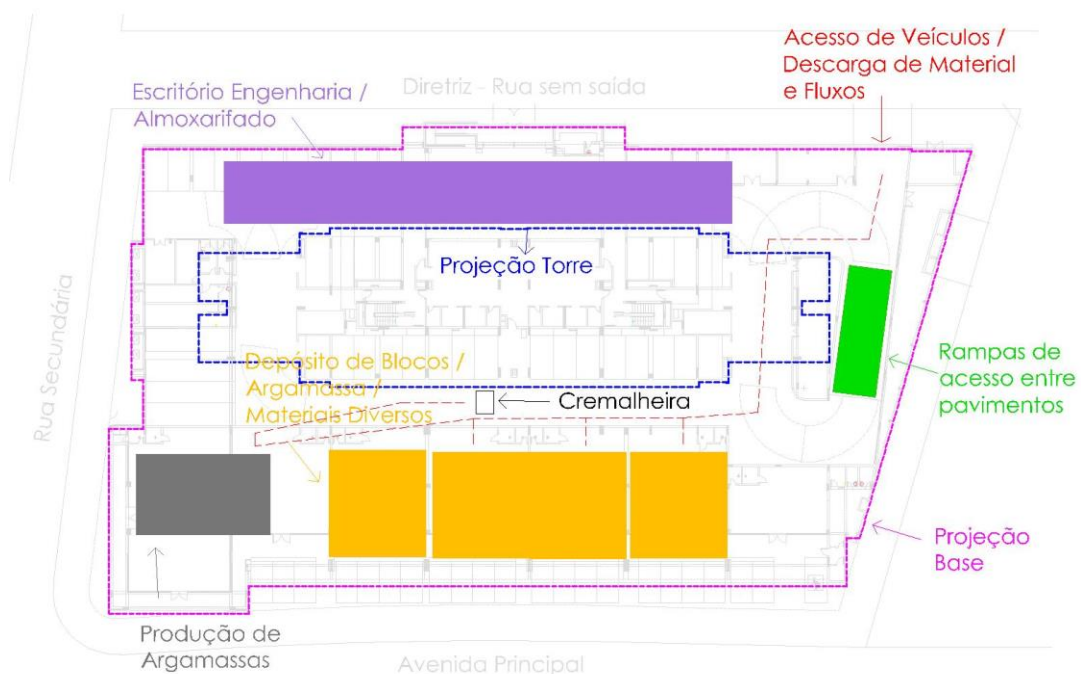
Estas considerações levaram à decisão de restringir o ponto de descarga de materiais e acesso de veículos ao canteiro de obras para a rua sem saída localizada à leste do terreno, visto que o tráfego intenso de veículos na avenida principal inviabiliza paradas e manobras excessivas no local. Além disso, o acesso definitivo previsto em projeto para o estacionamento do empreendimento também se dá pelo lado leste, de maneira que o mesmo possa ser utilizado ao longo da execução da obra, sem prejudicar o andamento de outras atividades.

A edificação possui múltiplo uso, tanto comercial quanto residencial, sendo que a região do térreo está destinada exclusivamente às lojas comerciais e vagas de estacionamento. Isto foi observado como positivo para a alocação de depósitos ao longo da execução, visto que são áreas que não demandam tantos detalhes construtivos quanto às áreas residenciais, além de se caracterizarem por grandes vãos devido às vagas de garagem e circulações.

O estudo das plantas dos pavimentos 2 e 3, também pertencentes à base do empreendimento, indicou que as vagas de estacionamento das unidades residenciais da edificação estão concentradas no lado oeste, enquanto as áreas de uso comum como piscinas e salões de festas, que requerem acabamentos e detalhes construtivos sofisticados, no lado leste. Esta distribuição se deve ao posicionamento da torre em relação à base, e corrobora a ideia de que o melhor local para depositar materiais seja no térreo, lado oeste, sendo, portanto, assim adotado neste trabalho.

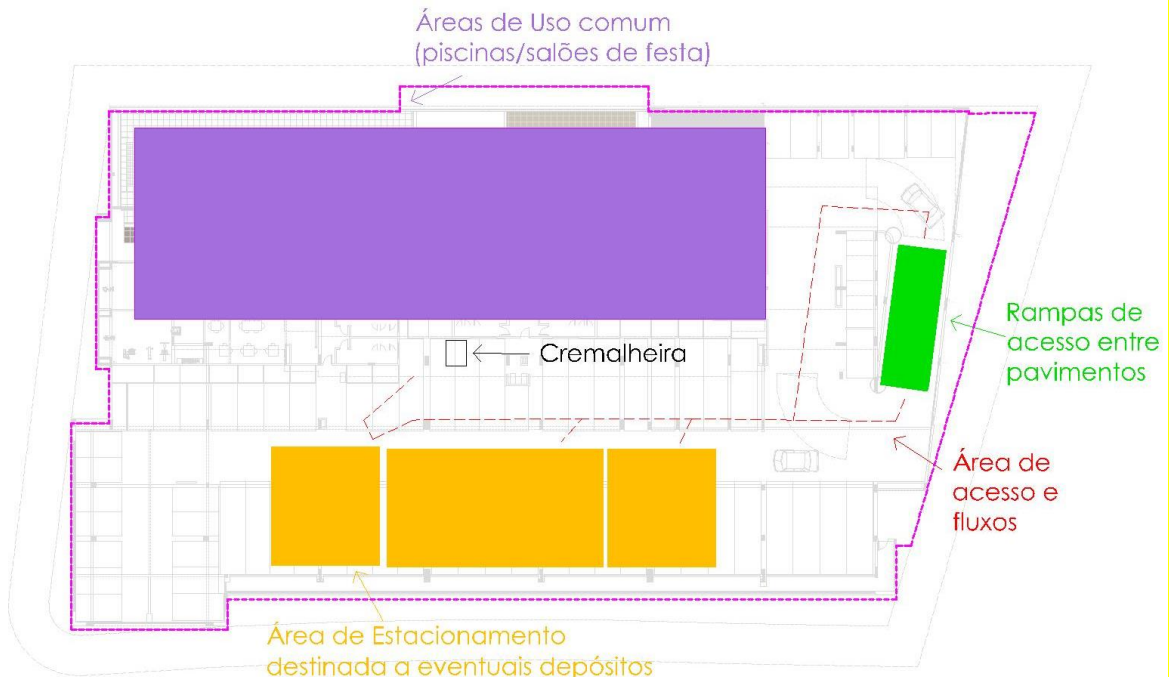
O posicionamento do elevador cremalheira também foi pensado visando minimizar os fluxos horizontais necessários para o transporte de materiais e pessoas, tanto no pavimento térreo, quanto na torre. Buscou-se assim um local que fosse próximo aos depósitos adotados, bem como de todas as extremidades da torre, facilitando também o acesso para todos os andaimes suspensos propostos para a execução do revestimento externo. As **Figura 22** a **Figura 24** apresentam os layouts do canteiro de obra para os pavimentos térreo, segundo e terceiro, respectivamente. Observa-se na **Figura 24** que o terceiro pavimento, descoberto, não foi destinado a depósitos de materiais no sistema tradicional devido a possível interferência de agentes externos.

Figura 22 - Layout do canteiro de obras do pavimento térreo para a execução do sistema de vedação tradicional



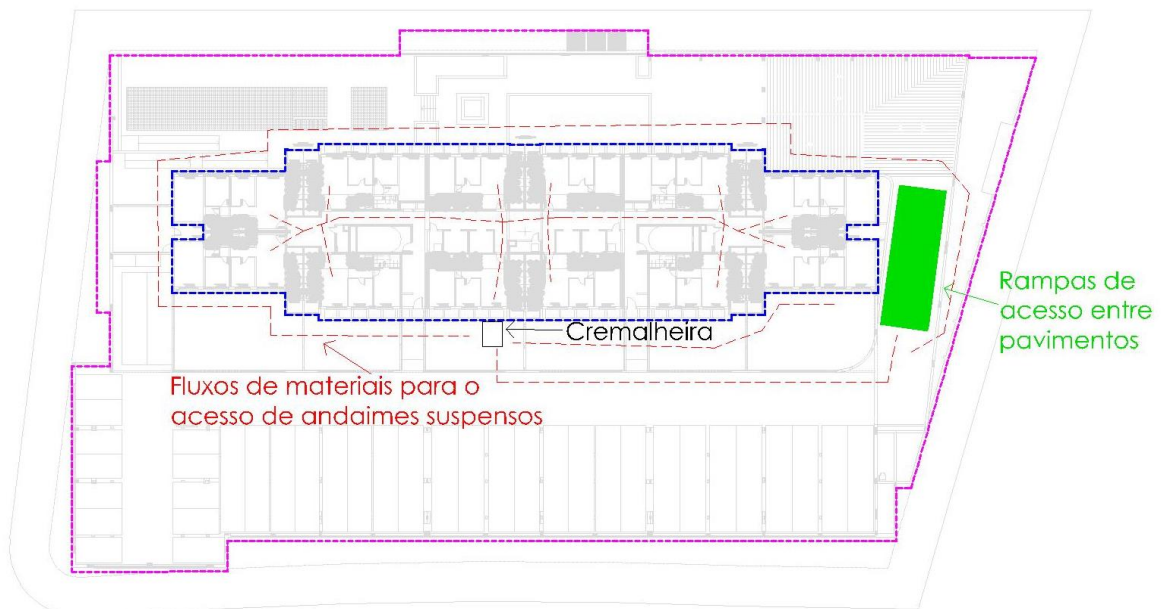
(fonte: própria do autor)

Figura 23 - Layout do canteiro de obras do segundo pavimento para a execução do sistema de vedação tradicional



(fonte: própria do autor)

Figura 24 - Layout do canteiro de obras do terceiro pavimento para a execução do sistema de vedação tradicional



(fonte: própria do autor)

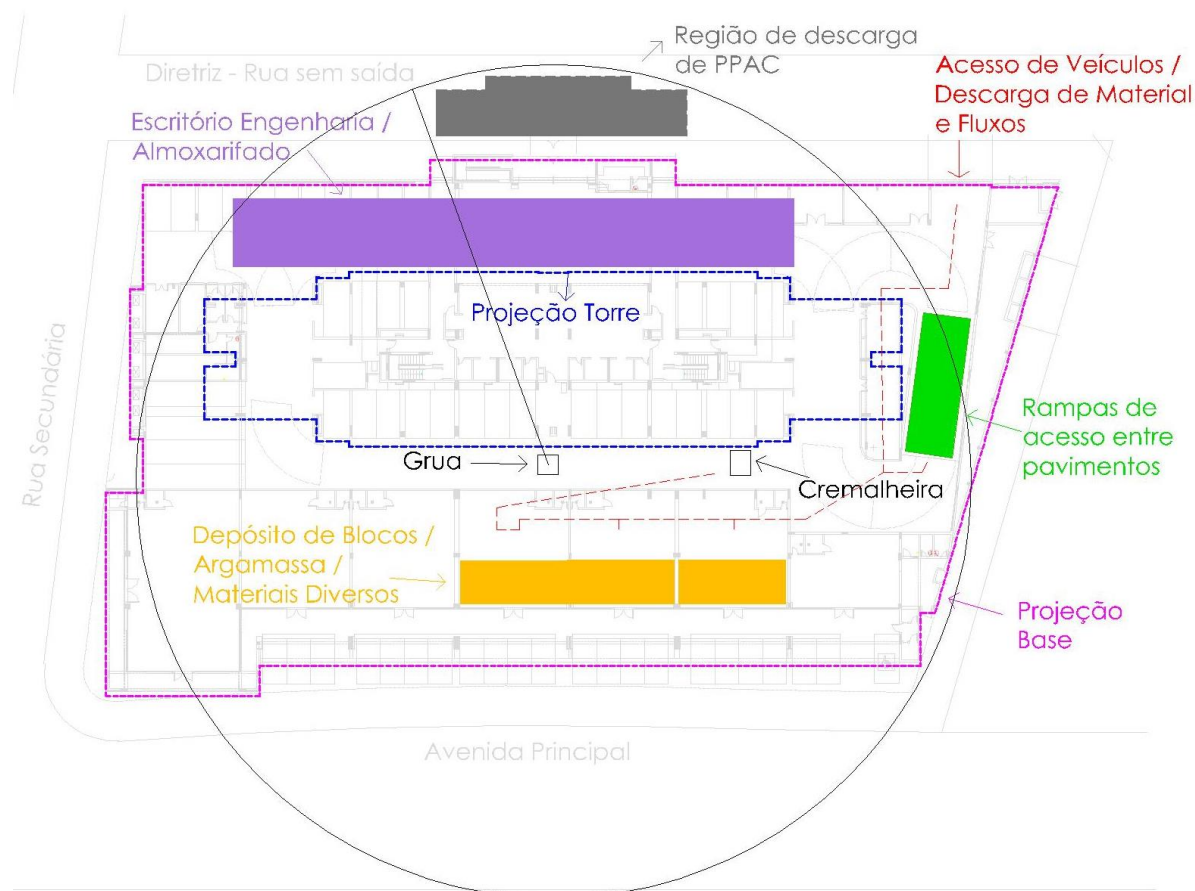
4.4.2 Vedação com Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto

Os sistemas de vedação pré-fabricados de concreto se distinguem dos tradicionais de blocos cerâmicos, entre outros fatores, pela presença de componentes pesados e em pequena variabilidade. Como consequência, geralmente a logística ideal para o bom funcionamento do sistema exige que os mesmos sejam içados diretamente do caminhão que os transporta para o local definitivo de uso. Embora esta seja a meta almejada pelos construtores, ainda se faz necessário prever áreas mínimas de estoque em obra para suprir os eventuais imprevistos e dificuldades oriundos de problemas de entrega ou de interferências entre serviços na hora da montagem.

Desta forma, após algumas análises foi definido que a área ideal para estocagem mínima dos PPAC fosse a região do estacionamento do terceiro pavimento, visto que, além de ser uma área grande, é descoberta, longe do restante do canteiro de obras, e de fácil acesso da grua. Foi constatado também que o posicionamento do elevador cremalheira proposto para o sistema de vedação tradicional não seria possível neste cenário, uma vez que a região centralizada da torre deva ser destinada à grua, garantindo que o raio da lança alcance todas as extremidades da fachada, incluindo a região de descarga e depósito dos painéis. Assim, optou-se por posicionar o elevador cremalheira mais para a lateral da torre, apesar de assim aumentar os fluxos nas circulações dos pavimentos tipo.

A **Figura 25** apresenta o layout do canteiro de obras proposto para a execução do sistema de vedação com PPAC. Observa-se que o tamanho do depósito de blocos, argamassas e materiais diversos é significativamente menor devido a diferença da fachada do empreendimento. Apesar de o raio da grua ser suficiente para içar os painéis pelo lado oeste da edificação, reduzindo o transporte deles por cima do canteiro de obras, optou-se por manter o ponto de descarga na diretriz da rua sem saída em virtude do elevado tráfego de veículos na avenida principal, que pode dificultar as longas paradas dos caminhões nas chegadas das cargas. Como a grua tem sua posição fixada no canteiro, a opção de fazer a descarga dos PPAC pelo lado oeste é uma alternativa que pode ser estudada ao longo da execução da obra, sendo um segundo plano de ataque caso se confirme viável.

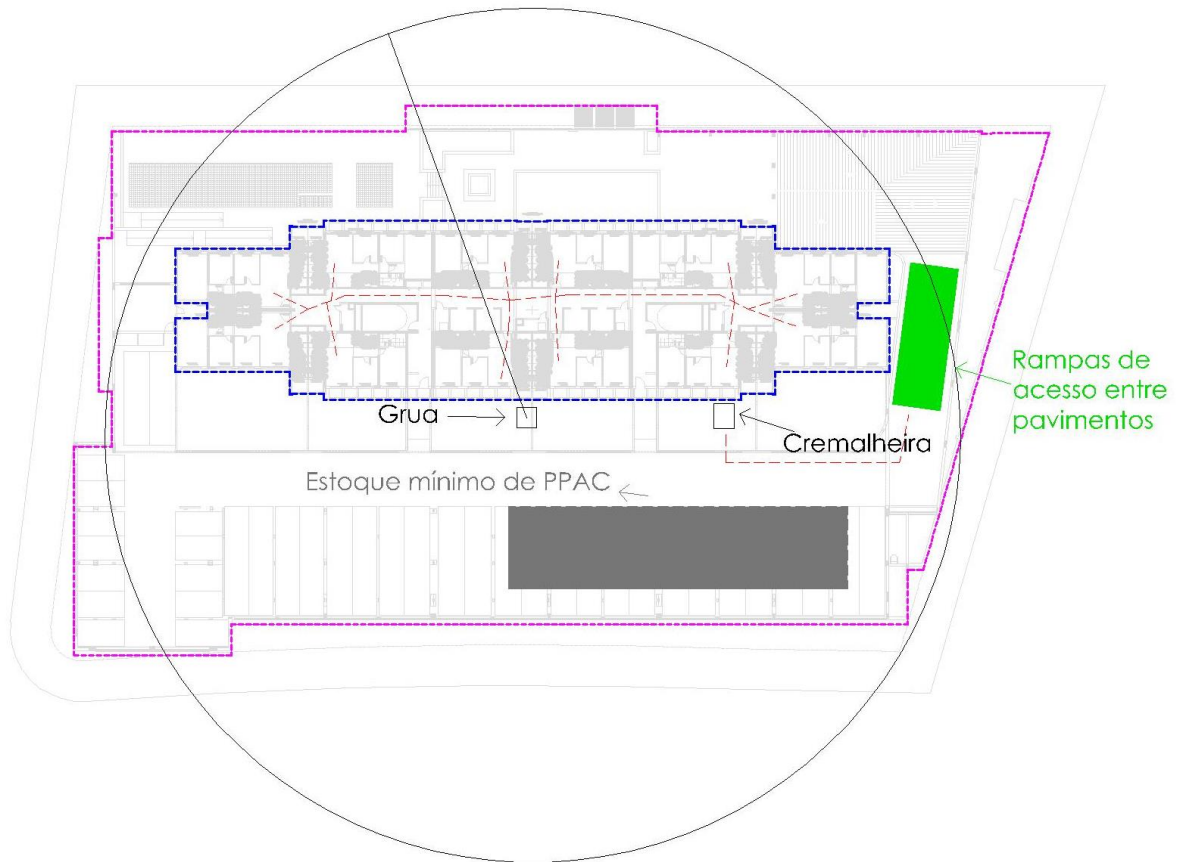
Figura 25 - Layout do canteiro de obras do pavimento térreo para a execução do sistema de vedação com PPAC



(fonte: própria do autor)

Na **Figura 26** a seguir é possível observar o estoque mínimo previsto para os PPAC. Este é um item logístico muito importante em razão da elevada carga que os mesmos exercem sobre a laje em que estão apoiados. No caso deste estudo especificamente, não foi possível a estocagem dos painéis no pavimento térreo devido à alta taxa de ocupação do terreno por áreas construídas. Embora este dimensionamento não faça parte do escopo deste trabalho, é válido citar que nos casos em que este depósito seja feito em lajes de pavimentos superiores, é possível que seja necessário fazer um reforço e escoramento adequado para que se garanta a estabilidade da estrutura. Além disso, nos períodos em que a grua esteja operando no içamento de painéis, é imprescindível isolar adequadamente as áreas abaixo para garantir a segurança dos demais trabalhadores do canteiro de obras.

Figura 26 - Layout do canteiro de obras do terceiro pavimento para a execução do sistema de vedação com PPAC



(fonte: própria do autor)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar em diversos aspectos a viabilidade de implantação de um sistema de vedação de fachada com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto em um edifício residencial de múltiplos pavimentos, sistema este que se caracteriza pelo elevado grau de industrialização quando comparado a um sistema de vedação tradicional de blocos cerâmicos revestidos com argamassa. No aspecto técnico, os PPAC se apresentaram como um sistema viável, visto que são capazes de desempenhar os requisitos exigidos pela edificação de maneira semelhante ao sistema tradicional.

Foi possível identificar que o grau de industrialização de um sistema está diretamente relacionado à necessidade de compatibilizar os projetos multidisciplinares entre si e também com o setor responsável pela sua execução, visto que as peças pré-fabricadas chegam ao canteiro de obras prontas para a montagem, tornando difícil a tomada de decisões frente a quaisquer imprevistos e incompatibilidades que possam ocorrer neste momento.

A elaboração dos cronogramas de execução permitiu identificar as etapas e principais diferenças entre a sequência dos serviços em ambos os sistemas de vedação, bem como os gargalos do sistema tradicional frente ao industrializado. Estas diferenças podem ser observadas no **Quadro 5** deste trabalho. No sistema de vedação com PPAC, a redução das atividades a serem realizadas no canteiro de obras proporcionada pela eliminação do revestimento externo executado com blocos, argamassa e andaimes suspensos resultou em ganhos significativos de prazos de execução, confirmando o que sugerem os referenciais teóricos utilizados neste trabalho, sendo este um aspecto positivo e vantajoso do sistema. Enquanto que a estimativa de prazos encontrada para a execução do empreendimento com uma vedação tradicional foi de 26 meses e meio, no sistema industrializado com PPAC, foi de 21 meses e meio, 5 meses a menos.

Referente aos custos envolvidos para a implantação das técnicas tradicional e industrializada, foi constatado a partir do orçamento elaborado no **Apêndice D** que a vedação com blocos cerâmicos apresenta um custo por metro quadrado de fachada de R\$ 264,19, enquanto que a vedação com PPAC, de R\$ 591,54, uma diferença considerável. Esta diferença também já era

sugerida pelas bibliografias e pode ser explicada pelo menor grau de complexidade, especialização e industrialização que o sistema tradicional possui, assim como pela quantidade reduzida de grandes máquinas e equipamentos envolvidos em sua execução. Os custos apresentam-se como uma vantagem do sistema tradicional, e como uma justificativa para este sistema ainda ser o mais utilizado na maioria das edificações residenciais da atualidade.

Os itens abordados no orçamento foram satisfatórios para a obtenção da estimativa dos custos diretos de construção ainda na fase antecedente à execução do projeto, visto que incluíram diversos aspectos envolvidos na implantação dos sistemas de vedação, como materiais, mão-de-obra, alugueis de equipamentos e ainda descartes de resíduos, além de os valores encontrados por metro quadrado de fachada terem sido coerentes com os das bibliografias. Embora a diferença de custos diretos tenha sido significativa, foi possível ponderar que outros custos indiretos de difícil alocação a um serviço específico podem minimizar esta diferença a partir da redução de prazos de execução que um sistema industrializado pode proporcionar. Neste sentido, abre-se espaço para trabalhos futuros abordarem de maneira mais aprofundada a relação custo-benefício de diferentes sistemas de vedação, visto que as reduções de prazos conduzem à consequentes reduções de despesas fixas com administração, consumos de energia, água e materiais diversos necessários para o andamento diário de uma obra.

Além disso, alguns bens intangíveis precisam ser considerados quando feita a escolha de qual sistema de vedação utilizar em uma edificação. As variáveis envolvidas na execução de uma fachada tradicional são muitas devido ao elevado número de atividades complementares que não agregam valor, mas que são necessárias à execução dos serviços. Com isso, questões como atrasos na montagem de andaimes suspensos, impossibilidade de trabalho devido a condições adversas do tempo, falta no trabalho por parte de funcionários, interferência entre diferentes equipes na realização das atividades e imprevistos resultantes de falhas de projeto se tornam problemas rotineiros que comprometem o prazo teórico ideal avaliado na viabilidade do lançamento do empreendimento. Isso faz com que os ganhos reais de tempo de execução da obra com um sistema industrializado possam ser ainda mais representativos na prática, desde que se tenha um conjunto de setores envolvidos no objetivo de otimizar o processo, desde os projetistas até os fabricantes dos painéis e os responsáveis pela execução. Em obras cujo prazo de execução é inflexível e cada dia de atraso na entrega representa altos gastos com multas, tais fatores são ainda mais impactantes.

O estudo do layout do canteiro de obras do empreendimento indicou que as áreas necessárias para estocagem de materiais em um sistema de vedação com blocos cerâmicos e revestimento de argamassa são maiores do que em um industrializado, isto porque todo o produto da vedação tradicional é produzido de maneira artesanal através de diversas atividades no próprio canteiro de obras. Conseqüentemente, neste caso, a desorganização do canteiro, o número das atividades de fluxo e os desperdícios materiais e temporais envolvidos em sua produção são consideravelmente maiores e, apesar de difíceis de quantificar, devem ser ponderados na hora de escolher qual tipo de vedação utilizar em uma edificação.

Em contrapartida, no sistema industrializado, a utilização de grandes equipamentos para o içamento dos painéis pré-fabricados, como guias, exige que se tenha um planejamento avançado do canteiro de obras para que não haja interferência com os demais serviços nos momentos de descarga e montagem dos PPAC. Neste contexto, a utilização de novas técnicas de projeto e planejamento, como o BIM 4D, apresenta-se como uma excelente alternativa capaz de compatibilizar os projetos multidisciplinares e simular as atividades de fluxo envolvidas na produção do sistema, minimizando a possibilidade de ocorrência de tais imprevistos e interferências no momento da execução. Embora não tenha sido escopo deste trabalho simular as atividades de fluxo do canteiro de obras através de técnicas como o BIM 4D, esta é também uma sugestão para trabalhos futuros envolvendo os dois sistemas de vedação de fachada.

Por fim, foi possível identificar que ambos os sistemas de vedação de fachada são viáveis para o empreendimento em questão, sendo que cada um deles apresentou aspectos vantajosos e desvantajosos. A escolha de qual deles empregar é um tanto quanto complexa e depende de quais são as prioridades envolvidas na execução de cada obra. Embora a industrialização seja uma tendência na construção civil, o seu uso não deve ser encarado como a solução dos problemas do sistema tradicional, sendo que este último deve ser também alvo de constantes melhorias. Para que a industrialização apresente ganhos significativos de prazos e qualidade no produto final, a mesma deve ser estudada desde a concepção do empreendimento, pois exige que se revisem alguns outros processos já consolidados na elaboração dos projetos. O **Quadro 23** abaixo visa sistematizar os aspectos e resultados observados neste trabalho.

Quadro 23 - Resumo comparativo geral de resultados e aspectos observados

Aspecto Comparativo	Fachada Convencional	PPAC
Nº de Etapas	21	9
Prazo de execução	26,5 meses	21,5 meses
Custos diretos totais	R\$ 2.415.718,86	R\$ 5.408.949,40
Custos diretos / m²	R\$ 264,19	R\$ 591,54
Logística e Canteiro de Obras	<ul style="list-style-type: none"> * Grandes áreas de depósitos; * Elevado fluxo de atividades no canteiro; * Maior probabilidade de imprevistos e interferências; * Maior possibilidade de contornar imprevistos. 	<ul style="list-style-type: none"> * Área reduzida de depósitos; * Baixo fluxo de atividades no canteiro; * Menor probabilidade de imprevistos e interferências; * Exige precisão de planejamento de vários setores.

(fonte: própria do autor)

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. C. de. **Fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) e de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha**: comparativo dos processos de execução. 2010. 78 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ANTUNES, G. R. **Contribuição para avaliação de desempenho de revestimentos de argamassa reforçados com telas metálicas**. 2016. 78 f. Tese parcial (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos – parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais – desempenho – parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

BARTH, F.; VEFAGO, L. H. M. **Tecnologia de fachadas pré-fabricadas**. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 2007.

DIAS, P. R. V. **Engenharia de Custos: metodologia de orçamentação para obras civis**. Rio de Janeiro: Sindicato dos Editores de Livros, 2011.

GEROLLA, G. Fachadas prontas. Revista **Téchne**, São Paulo, n. 119, p. 1-7, fev. 2007. Disponível em <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/119/artigo286380-1.aspx>>. Acesso em: 15 novembro 2017.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M. de.; HIROTA, E.H.; ALVES, T. da C. L. **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na Construção Civil**. Porto Alegre: SEBRAE-RS, 2000.

KEMMER, S. L.; HEINECK, L. F. M.; ALVES, T. C. L. Using the Line of Balance for Production System Design. **Annual Conference of the International Group For Lean Construction**, United Kingdom, 16 ed., p. 299-308, jul. 2008.

LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

LORDSLEEM JR., A. C. **Melhores Práticas – Alvenaria de Vedação com Blocos de Concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 2012. 72 f.

MANNESCHI, K. **Escopo de projeto para produção de vedações verticais e revestimentos de fachada**. ed. rev. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo: Pini, 2010.

MEDEIROS, J. S.; MELLO, M. B.; ROGGERO, M. V. V.; SEGUNDO, M. J. P.; PIETRANTONIO, V. B. **Tecnologia de vedação e revestimento para fachadas**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014. 128 f. (Série Manual de Construção em Aço).

OLIVEIRA, L. A. de. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, L. A.; SOUZA, U. E. L.; SABBATINI, F. H. Produtividade da mão-de-obra na execução de vedação de fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto. **Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**, Foz do Iguaçu, 9 ed., p. 1741-1750, mai. 2002.

PEÑA, N. D.; FRANCO, L. S. Método para elaboração de projetos para produção de vedações verticais em alvenaria. **Gestão & Tecnologia de projetos**, v. 1, n. 1, p. 126-153, nov. 2006.

ROCHA, A. C. da. **Análise comparativa de planejamento e custo de fachadas de edifício de múltiplos pavimentos com as tecnologias tradicional e com chapas delgadas estruturadas em light steel framing**. 2017. 391 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROCHA, A. C.; BARROS, M. M. S. B. de.; LEITE, B. C. C.; PETRECHE, J. R. D. Avaliação do desempenho térmico de fachada com painéis leves em edificação de múltiplos pavimentos. **Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**, São Paulo, 16 ed., p. 0755-0764, set. 2016.

SCHRAMM, F. K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social**. 2004. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, M. M. de A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G. **Painéis de vedação**. Rio de Janeiro, IBS/CBA, 2004. 59 f. (Série Manual de Construção em Aço).

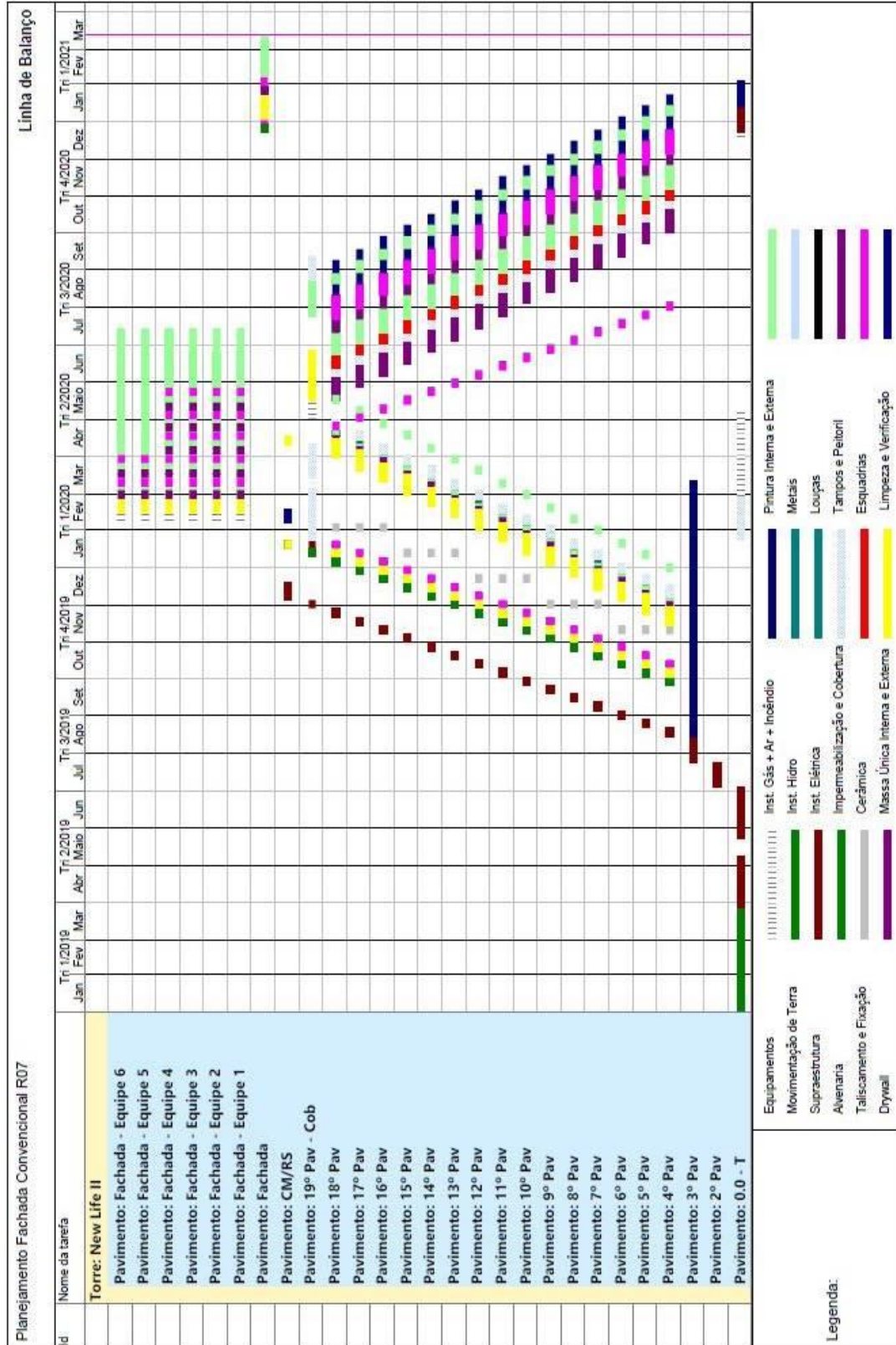
SILVA, R. C. da.; GONÇALVES, M. de O.; ALVARENGA, R. de C. S. S. Alvenaria Racionalizada. Revista **Téchne**, São Paulo, n. 112, p. 1-4, jul. 2006. Disponível em <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285542-1.aspx>>. Acesso em: 15 novembro 2017.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F.; TOMAZETTI, R. R.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Painéis pré-fabricados de concreto em fachadas de edifícios: inovação tecnológica consolidada? **Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**, Florianópolis, 11. ed., p. 3307-3316, ago. 2006.

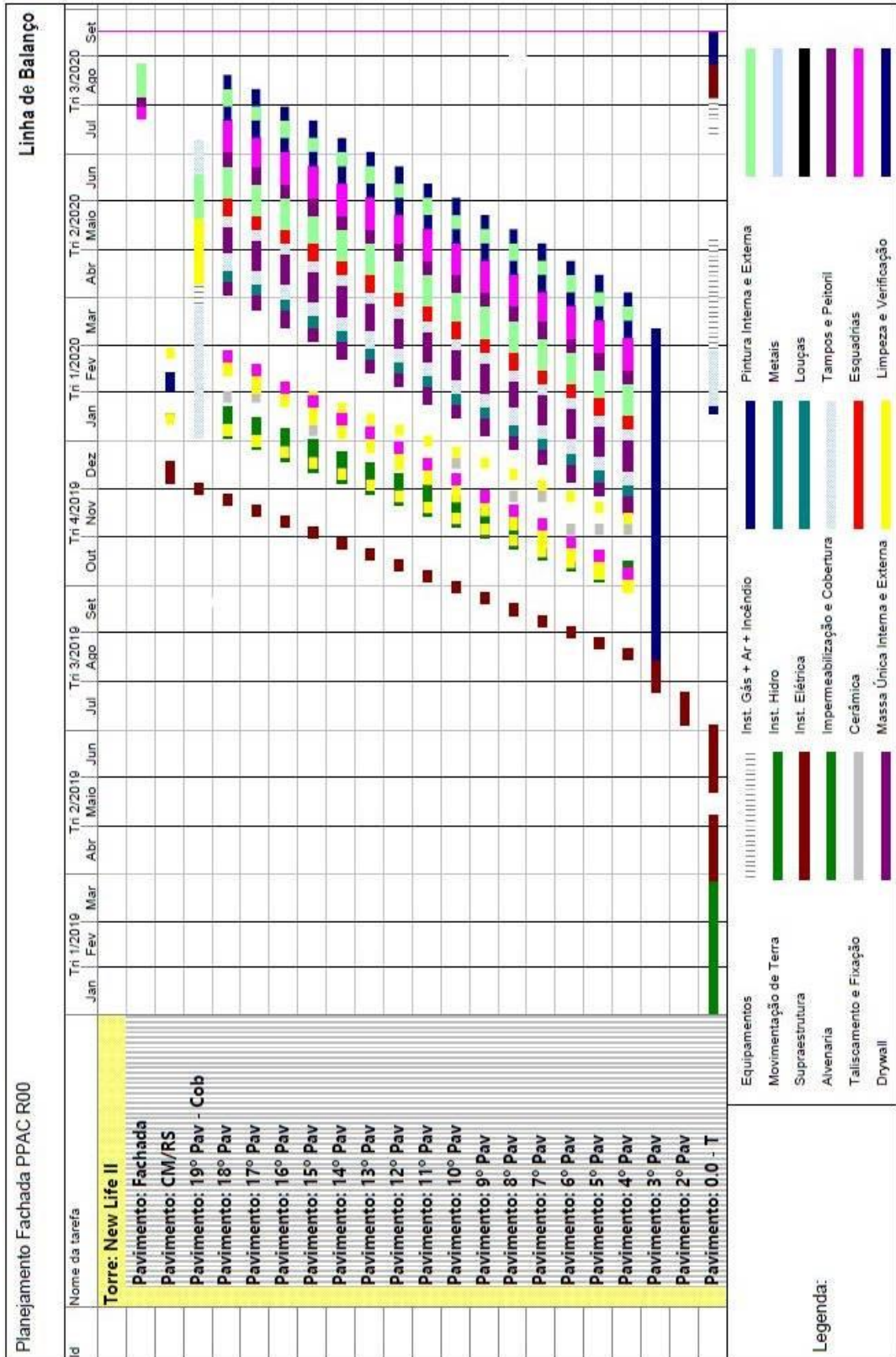
TISAKA, M. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2006.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10. ed. rev. e atual. São Paulo: Pini: SindusCon, 2009.

APÊNDICE A – LINHA DE BALANÇO DO PLANEJAMENTO FÍSICO DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO COM A FACHADA DE ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS



APÊNDICE B – LINHA DE BALANÇO DO PLANEJAMENTO FÍSICO DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO COM A FACHADA DE PPAC



APÊNDICE C – TABELAS DE EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS DE MATERIAIS E MÃO DE OBRA NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DA FACHADA DO EMPREENDIMENTO

Descrição dos serviços	Un.	Pavimento Tipo (1x)				Cobertura				TOTAL (Tipo 15x + cob)	
		Largura (m)	Altura (m)	Área / pvto (m2)	Total Mat (m2)	Total MO (m2)	Largura (m)	Altura (m)	Área / pvto (m2)	Total Mat (m2)	Total MO (m2)
CONVENCIONAL											
Alvenaria de blocos	m²	214,73	2,23	478,85	250,21	478,85	214,73	1,33	286,24	286,24	7.468,95
Contravergas	m	92,80			92,80	92,80	214,73	95,41		310,14	1.392,00
Cintas e pilaretes da platibanda	m										310,14
Colocação de contramarcos	un.					60,00					900,00
Chumbação de contramarcos	un.					60,00					900,00
Chapisco interno rolado	m²	214,73	0,71	152,46	279,03	279,03					4.185,50
Reboco interno	m²	214,73	2,63	564,74	426,28	564,74					6.394,26
Chapisco externo	m²	214,73	2,75	590,51	452,05	590,51	429,46	1,33	572,47	572,47	7.353,24
Reboco externo	m²	214,73	2,75	590,51	452,05	590,51	429,46	1,33	572,47	572,47	7.460,61
Moldura em EPS	m	227,20			227,20	227,20					3.408,00
Frisos no reboco externo	m	33,16				33,16					0,00
Pelitoril	m	92,80			92,80	92,80					1.392,00
Pintura Externa	m²	214,73	2,75	590,51	452,05	590,51	429,46	1,33	572,47	572,47	7.353,24
PPAC											
Área total de fachada com janelas	m²	214,73	2,75	590,51	590,51	590,51	214,73	1,33	286,24	286,24	9.143,85
Área de gesso acartonado int.	m²	214,73	2,23	478,85	340,39	478,85					5.105,88
Alvenarias na cobertura	m²						214,73	0,60	128,84	128,84	128,84
Lã de rochas entre pavimentos	m	214,73			214,73	214,73			214,73	214,73	3.435,68

Aberturas pvto tipo				
l (m)	h (m)	Qtde / pvto	Área aberturas (m2)	
0,46	0,93	4,00	1,71	
1,86	1,53	4,00	11,38	
1,56	1,53	20,00	47,74	
2,66	1,53	4,00	16,28	
1,01	1,33	12,00	16,12	
2,06	1,53	4,00	12,61	
1,66	1,53	8,00	20,32	
2,01	1,53	4,00	12,30	

Pilares contidos na alvenaria pvto tipo				
A (m)	B (m)	h (m)	Qtde / pvto	Área pilares (m²)
0,19	0,94	2,23	20,00	41,92
0,30	1,06	2,23	2,00	4,73
0,19	2,14	2,23	4,00	19,09
0,25	1,04	2,23	4,00	9,28
0,25	0,70	2,23	4,00	6,24
0,25	1,00	2,23	4,00	8,92

