

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL

JOSÉ MÁRCIO FEITOSA MONTEIRO

ANÁLISE DA CONSTRUTIBILIDADE DE UM SISTEMA MODULAR EM
ALVENARIA CERÂMICA PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

FORTALEZA

2012

JOSÉ MÁRCIO FEITOSA MONTEIRO

ANÁLISE DA CONSTRUTIBILIDADE DE UM SISTEMA MODULAR EM
ALVENARIA CERÂMICA PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração:
Construção Civil

Orientador:
Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini

FORTALEZA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

M777a Monteiro, José Márcio Feitosa.
Análise da construtibilidade de um sistema modular de alvenaria cerâmica para habitações de interesse social / José Márcio Feitosa Monteiro – 2012.
107 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2012.
Área de Concentração: Construção Civil.
Orientação: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.

1. Habitação 2. Construção Civil 3. Bloco Cerâmico I. Título.

CDD 620

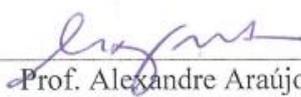
JOSÉ MÁRCIO FEITOSA MONTEIRO

ANÁLISE DA CONSTRUTIBILIDADE DE UM SISTEMA MODULAR EM
ALVENARIA CERÂMICA PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

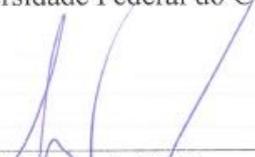
Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Construção Civil.

Aprovada em 27/06/2012

BANCA EXAMINADORA



Prof. Alexandre Araújo Bertini, Dr. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC



Prof. Luiz Fernando Mahlmann Heineck, Dr.
Universidade Federal do Ceará – UFC



Prof. Humberto Ramos Roman, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

*“Como Universidade cultivamos o saber.
Como Universidade do Ceará servimos ao meio.
Realizamos assim o universal pelo regional.”*
Prof. Antônio Martins Filho (Fundador e 1º Reitor da UFC)

*“Há pessoas que desejam saber só por saber, e isso é curiosidade;
outras, para alcançarem fama, e isso é vaidade;
outras, para enriquecerem com a sua ciência, e isso é um negócio torpe;
outras, para serem edificadas, e isso é prudência;
outras, para edificarem os outros, e isso é Amor !”*
São Tomás de Aquino(Santo e Doutor da Igreja)

AGRADECIMENTOS

Ao Pai do Céu, meu amoroso Criador, a Jesus Cristo, meu Salvador, Mestre e Senhor e ao Espírito Santo, meu Advogado e Consolador. Deus uno e trino que, apesar de meus erros, me ama.

A Maria, Mãe de Jesus e minha mãe e ao seu esposo e meu protetor, São José.

Aos meus Pais Rami e Jacinta, os pilares de minha vida.

A minha tia “Pitote”, por toda a ajuda e dedicação. As tias Dedê e Terezinha pelo apoio e todo o carinho. Ao tio Salomão. Ao primo Rogério e sua filha Caroline.

Aos meus irmãos Marcelo e Marta e seus cônjuges Daniele e Samuel.

Ao meu sobrinho, Filipe.

A toda a família Feitosa e a toda a família Monteiro.

A minha namorada, Luara, pelo amor, paciência e compreensão.

A família Lima, por seu incentivo, apoio e consideração.

As minhas colegas do Mestrado, Mayra, Kélvia, Lídice, Neliza, Paula e Ana Cristina, pela ajuda em tantos momentos de estudo e pela amizade. Aos amigos da Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia. Alunos na pessoa do amigo Marcelo; professores, na pessoa do Prof. Albertin e funcionários, na pessoa do amigo “Chiquim”.

Ao professor orientador Alexandre Bertini, por seu incentivo, dinamismo, firmeza e por tantas oportunidades a mim proporcionadas ao logo de sete anos de trabalho na UFC.

Ao professor Heineck, por sua inteligência, amizade e pela colaboração e incentivo ao longo do mestrado na UFC.

A direção, professores e alunos da Escola Estadual de Educação Profissional Presidente Roosevelt – EEEP - CENTEC.

Aos Amigos da Fujita Engenharia.

Aos irmãos da Comunidade Católica Anunciadores da Paz e do Ministério Universidades Renovadas – Renovação Carismática Católica, na pessoa dos amigos Rayme e Walesa.

Aos amigos da Paróquia Nossa Senhora das Graças – Vila Manoel Sátiro, na pessoa de seu pároco Pe. Juarez.

Aos amigos da Paróquia dos Remédios, na pessoa de seu pároco, Pe. Fernando.

Aos amigos jesuítas da Paróquia de Mondubim, na pessoa do Pe. Laércio, SJ

Aos amigos dos Bairros Parque São José e Vila Manoel Sátiro.

A minha amada avó Ester, a tia Lucilde, tio Manoel e meu padrinho Geraldo (*in memoriam*), que partiram para o céu, mas que, de lá, rezam sempre por mim.

RESUMO

MONTEIRO, J. M. F. **Análise da Construtibilidade de um Sistema Modular em Alvenaria Cerâmica para Habitação de Interesse Social**. 2012, 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

O déficit habitacional brasileiro é um problema que afeta principalmente a parcela mais pobre da população. Sua solução passa não somente pela execução de grandes programas habitacionais ou pelo desenvolvimento de sistemas construtivos, mas também pela avaliação destes por meio da análise de sua construtibilidade. Sistemas construtivos de menor custo, adaptados às realidades locais e que possam garantir às famílias conforto, segurança e qualidade de vida são essenciais quando se trata de projetar e executar habitações de interesse social - HIS. O presente trabalho, pois, apresenta o processo de desenvolvimento de um sistema modular em alvenaria de blocos cerâmicos, desde sua concepção e projeto até sua aplicação na execução de um protótipo construtivo, e analisa o mesmo sob a ótica da construtibilidade. Para tanto, o trabalho utiliza uma metodologia de acompanhamento e registro intensivos das fases de projeção e execução do sistema e realiza um estudo crítico das mesmas, investigando sua construtibilidade qualitativamente e propondo melhorias a fim de que o mesmo alcance um patamar superior de integração entre as fases projetual e executiva. Tem-se como resultado uma sistemática de estudo da construtibilidade que pode ser aplicada em outros sistemas construtivos, com a consequência de benefícios para a melhoria contínua na construção de habitações de interesse social.

Palavras-chave: Alvenaria. Bloco Cerâmico. Construtibilidade.

ABSTRACT

MONTEIRO, J. M. F. **Analysis of the Constructability of a Modular Masonry Ceramic Social Housing**. 2012, 106 f. Dissertation (Master's degree in Civil Engineering). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

The Brazilian housing deficit is a problem that primarily affects the poorest part of the population. Its solution is not only to implement huge housing programs or to develop building systems, but also to evaluate these actions through the analysis of its constructability. Lower cost construction systems, tailored to local realities which can ensure to families comfort, safety and quality of life are essential when it comes to design and build social housing - SH (HIS on Portuguese). This paper, therefore, presents the development process of a modular masonry for ceramic blocks, since its conception and design until its implementation in a constructive prototype and analyses the same from the standpoint of constructability. Thus, the study uses a methodology of intensive recording and monitoring of the system's project and implementation phases. It performs a critical analysis of them, investigating, qualitatively, the constructability of the system and proposing improvements for it to reach a higher integration level between projectual and executive phases. As a result, there is a systematic for studying the constructability applicable to other building systems, with results that contribute to continuous improvement on build of social housing.

Key-words: Masonry, Ceramic Block, Constructability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação do Nível de Atividade na Construção Civil no Brasil	13
Figura 2 – Crescimento da Construção Civil no Brasil entre os anos de 2006 e 2010.....	14
Figura 3 - Edifício em Fortaleza construído em alvenaria cerâmica estrutural.....	16
Figura 4 - Exemplo de componentes dos sistemas selecionados pelo HISCE	17
Figura 5 - Componentes do sistema em estudo e detalhe de encaixe.....	18
Figura 6 - Ligações entre paredes e passagem de tubulações.....	19
Figura 7 - Seleção de critérios utilizados na pesquisa	24
Figura 8 - Representação esquemática da metodologia adotada	26
Figura 9 - Representação gráfica do conceito de Construtibilidade.....	29
Figura 10 - Exemplo de blocos para alvenaria em malha modular.	32
Figura 11 - Gráfico que ilustra a abordagem do desempenho estabelecida na norma NBR 15575.....	38
Figura 12 - Indústrias cerâmicas de grande porte.....	41
Figura 13 - ústrias cerâmicas de médio porte.....	42
Figura 14 - Indústrias cerâmicas de pequeno porte.	42
Figura 15 - Microempresas.....	43
Figura 16 - Mapa do Ceará mostrando os municípios com maior presença de estabelecimentos industriais cerâmicos.....	44
Figura 17 - Medidas das faces de blocos de furação horizontal e vertical adotadas na catalogação dos componentes cerâmicos deste trabalho.....	45
Figura 18 – Exemplo de componente cerâmico catalogado.....	46
Figura 19 - Obra visitada no Bairro Maraponga em Fortaleza.....	47
Figura 20 - Detalhes construtivos de vergas e blocos para cintas.	48
Figura 21 - Obra em Parangaba com alvenaria cerâmica estrutural.....	49
Figura 22 - Execução da alvenaria de elevação.....	49
Figura 23 - Obra do Conjunto Rosalina em Fortaleza.....	50
Figura 24 - Detalhes Construtivos de escada, laje, alvenaria de elevação e fundações de edificações em Alvenaria Estrutural – Conjunto Rosalina em Fortaleza.....	50
Figura 25 - Esquadrias e alvenaria com problemas relativos à coordenação modular.....	51
Figura 26 - Casa com emprego de Alvenaria Cerâmica Estrutural em Assu-RN.	52
Figura 27 - Interação entre subsistemas construtivos de residência em Alvenaria Cerâmica Estrutural. (Parede-piso e parede-esquadrias).....	52
Figura 28 - Interação entre subsistemas construtivos de residência em Alvenaria Cerâmica Estrutural. (Parede-coberta e parede-laje).....	53
Figura 29 - Obra do Projeto Maranguapinho.....	54
Figura 30 - Sistema de fundação e cintamento utilizado.....	54

Figura 31 - Registro da confecção da proposta inicial de boquilha em metalúrgica.....	57
Figura 32 - Família de blocos cerâmicos desenvolvida – versão final para a produção.	58
Figura 33 - Boquilha definitiva acoplada à máquina extrusora.....	59
Figura 34 - Lote inicial de blocos em processo de extrusão e corte.....	59
Figura 35 - Ensaio de compressão em bloco cerâmico desenvolvido.....	60
Figura 36 - Planta baixa do protótipo construtivo.....	61
Figura 37 - Planta de Coberta do Protótipo Construtivo.....	62
Figura 38 - Protótipo MEHIS executado.....	62
Figura 39 - Ensaio de Corpo Mole.....	63
Figura 40 - Ensaio de Estanqueidade.....	64
Figura 41 - Planta Baixa do Protótipo Construtivo.....	68
Figura 42 - Planta de modulação do Protótipo Construtivo.....	69
Figura 43 - Vista de um pano de alvenaria e detalhe da 1ª e 2ª fiadas.....	69
Figura 44 - Quadro de Esquadrias.....	70
Figura 45 – Parede hidráulica.....	71
Figura 46 - Planta de cobertura.....	72
Figura 47 - Detalhe da vista que mostra os blocos projetados para vergas e a ausência de blocos de coroamento.....	72
Figura 48 - Cronograma simplificado de Execução do Protótipo.....	73
Figura 49 - Layout do Canteiro.....	75
Figura 50 - Layout do Canteiro Proposto.....	76
Figura 51 - Fundação em Radier e etapa de marcação.....	77
Figura 52 - Núcleo de conferência dimensional.....	78
Figura 53 -Conferência de prumo e nível.....	79
Figura 54 - Conferência de esquadro.....	79
Figura 55 - Processo de elevação da alvenaria.....	81
Figura 56 – Influência do peso e da geometria do bloco na elevação da alvenaria.....	82
Figura 57 – Problemas no encaixe dos elementos cerâmicos na alvenaria.....	83
Figura 58 – Ajuste para o assentamento do bloco.....	84
Figura 59 - Detalhe do encaixe entre blocos e sulco considerado insuficiente para seccionamento.....	84
Figura 60 - Seccionamento com o auxílio de máquina de corte.....	85
Figura 61 - Vista de parede do protótipo.....	86
Figura 62 - Detalhes dos artifícios adotados para a execução de vergas e contravergas.....	87
Figura 63 - Caixas assentadas sem eletrodutos.....	88
Figura 64 – Eletrodutos instalados posteriormente com prejuízo para a construtibilidade do sistema.....	88
Figura 65 - Aspecto de um pano e alvenaria.....	89

Figura 66 - Detalhe de regularização da junta com boleamento.	90
Figura 67 - Nova proposta de projeto para a o sistema	91
Figura 68 - Modulação no piso cerâmico para minimização dos cortes	92
Figura 69 - Projeção da parede hidráulica e pontos hidráulicos.....	92
Figura 70 - Legenda de detalhe e quantificação de componentes	93
Figura 71 - Plantas de fiada	94
Figura 72 – Matriz de quantificação Tipo de Bloco x Parede	95
Figura 73 – Vista de parede.....	96
Figura 74 - Proposta de bloco calha para vergas, contra-vergas e cintas de coroamento.	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas da metodologia.	25
Quadro 2 – Significado do código do componente	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Significado dos elementos presentes na codificação.....	46
Tabela 2 - Processo de elaboração da geometria do bloco cerâmico.	56
Tabela 3 - Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural.	64
Tabela 4 - Níveis de desempenho para estanqueidade à água de fachada	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada
- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- BNH – Banco Nacional da Habitação
- CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção
- DIEESE –Departamento Intersindical de Estatísticas e Estudos Econômicos
- EPI – Equipamento de Proteção Individual
- HIS– Habitação de Interesse Social
- HISCE – Projeto Modelo de Habitação de Interesse Social para o Estado do Ceará
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MEHIS – Projeto Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais
- NUTEC – Instituto Núcleo de Tecnologia do Estado do Ceará
- UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina
- UFC – Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	O crescimento econômico do Brasil, a construção civil e os sistemas construtivos.....	12
1.2	Justificativa	20
1.3	Objetivos	21
1.4	Estruturação da Dissertação	22
2	METODOLOGIA	23
2.1	Critérios de Pesquisa	23
2.2	Etapas da Metodologia.....	24
3	O CONCEITO DE CONSTRUTIBILIDADE.....	27
4	FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR A CONSTRUTIBILIDADE.....	30
4.1	Coordenação Modular	30
4.2	Racinolização Construtiva e Construção Enxuta	33
4.3	Coordenação e Integração de projetos	35
4.4	Projeto para Produção	36
4.5	Desempenho	37
4.6	Recursos da Obra	40
5	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CONSTRUTIVO ANALISADO	40
5.1	Visita a Fábricas Cerâmicas	40
5.1.1	Perfil da Indústria Cerâmica no Ceará	40
5.2	Catologação de Componentes Cerâmicos	43
5.3	Visita a Obras.....	47
5.4	Projeto, Produção e Ensaios nos Blocos	55
5.5	Projeto, Produção e Ensaios no Protótipo Construtivo	61
5.5.1	Projeto e Execução do Protótipo Construtivo	61
5.5.2	Verificação do Desempenho do Protótipo Construtivo	63
6	ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO QUANTO A CONSTRUTIBILIDADE	67
6.1	Análise da Projetação	67
6.2	Análise da Execução	73
6.3	Melhorias pós-execução do sistema analisado.....	90
7	CONCLUSÕES	98
	BIBLIOGRAFIA	100
	ANEXO.....	107

1 INTRODUÇÃO

1.1 O crescimento econômico do Brasil, a construção civil e os sistemas construtivos

Segundo dados oficiais do Ministério das Cidades, de 2007 para 2008, o déficit habitacional no Brasil foi reduzido de 6,3 milhões para 5,8 milhões de domicílios - queda de 8%. Houve, porém, piora nos indicadores que medem o total de moradias com infraestrutura inadequada, tendo aumentado em cerca de 500 mil, passando a 11 milhões de unidades, o que corresponde a 22% dos domicílios urbanos. Estas informações confirmam que o déficit habitacional brasileiro continua a ser uma das grandes dívidas que o país tem com a sua população.

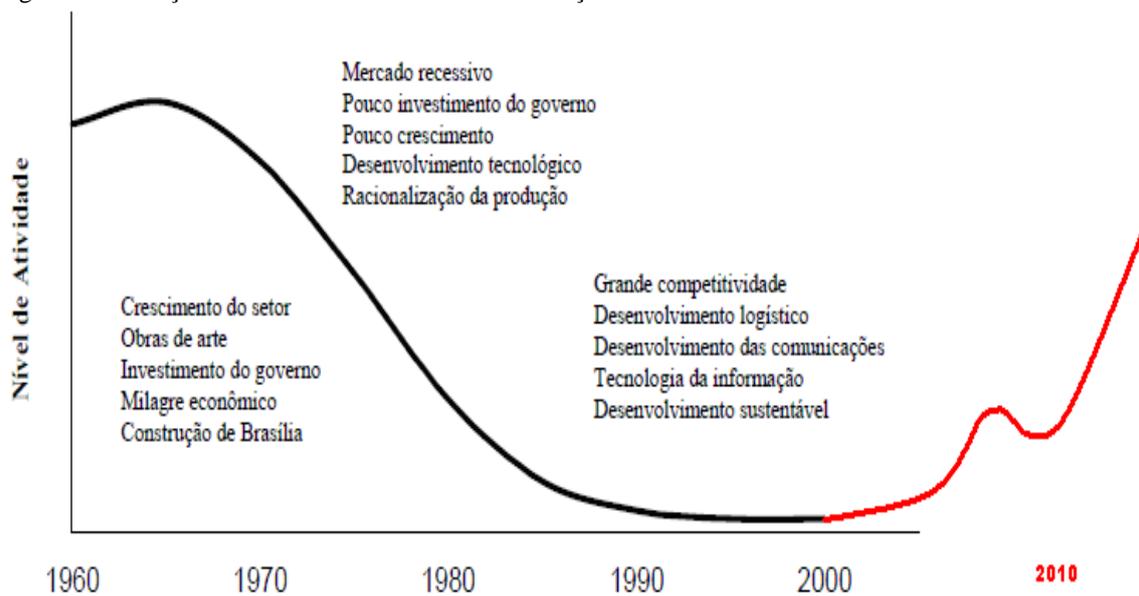
A respeito da situação econômica do Brasil, o cenário atual é de relativo aquecimento, haja vista que, em 2010, houve um crescimento do PIB da ordem de 7,5%, segundo dados do IBGE(2011). Já a construção civil, setor de grande influência no PIB, apresentou crescimento de 11% no mesmo ano. Este setor da economia foi também o que mais se destacou na geração de empregos em 2010. Proporcionalmente, foi a área que mais cresceu, com 14,4% de aumento no número de postos de trabalho. Em 2011 o crescimento do setor foi menor, da ordem de 4%, dada a base elevada de comparação com o ano anterior e o cenário de crise econômica na Europa e nos Estados Unidos. Para o ano de 2012 a previsão de crescimento da construção gira em torno de 5,2%. É o que afirma estudo divulgado pela CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção).

No que tange ao nível de atividade da construção civil, traçando-se um perfil histórico, pode-se afirmar que, na segunda metade do século XX, o mesmo passou por duas etapas bem distintas. A primeira, que abrange as décadas de 60 e 70 (ver Figura 1), foi marcada pelo “milagre econômico”, com o país obtendo altas taxas de crescimento do PIB por vários anos consecutivos. Nestas décadas a construção civil foi influenciada por maciços investimentos do governo e houve uma expansão em grande escala do setor.

As décadas de 80 e 90, ao contrário, apresentaram uma economia com mercado bastante recessivo, reduzidos investimentos governamentais e baixo crescimento econômico. O nível de atividade da construção civil caiu substancialmente e os escassos recursos do setor passaram a ser administrados com mais sobriedade. Por estes fatores, surgiu a necessidade das empresas construtoras de buscar desenvolver técnicas de racionalização da produção, implantar novas tecnologias construtivas e melhorar o desenvolvimento logístico e de comunicação.

Avaliando agora a primeira década do terceiro milênio, percebe-se que a mesma tem sido marcada pelo retorno do crescimento do nível de atividade da construção no Brasil. A não ser pelos efeitos da crise internacional de 2009, que acabou por afetar o ritmo da construção de edificações, o cenário geral aponta para um retorno nos próximos anos a um patamar de atividade próximo do que vigorou nas décadas de 60 e 70 no país. A Figura 1 também ilustra a retomada do crescimento do nível de atividade da construção brasileira a partir da primeira década do século XXI.

Figura 1 - Variação do Nível de Atividade na Construção Civil no Brasil nos últimos 50 anos.



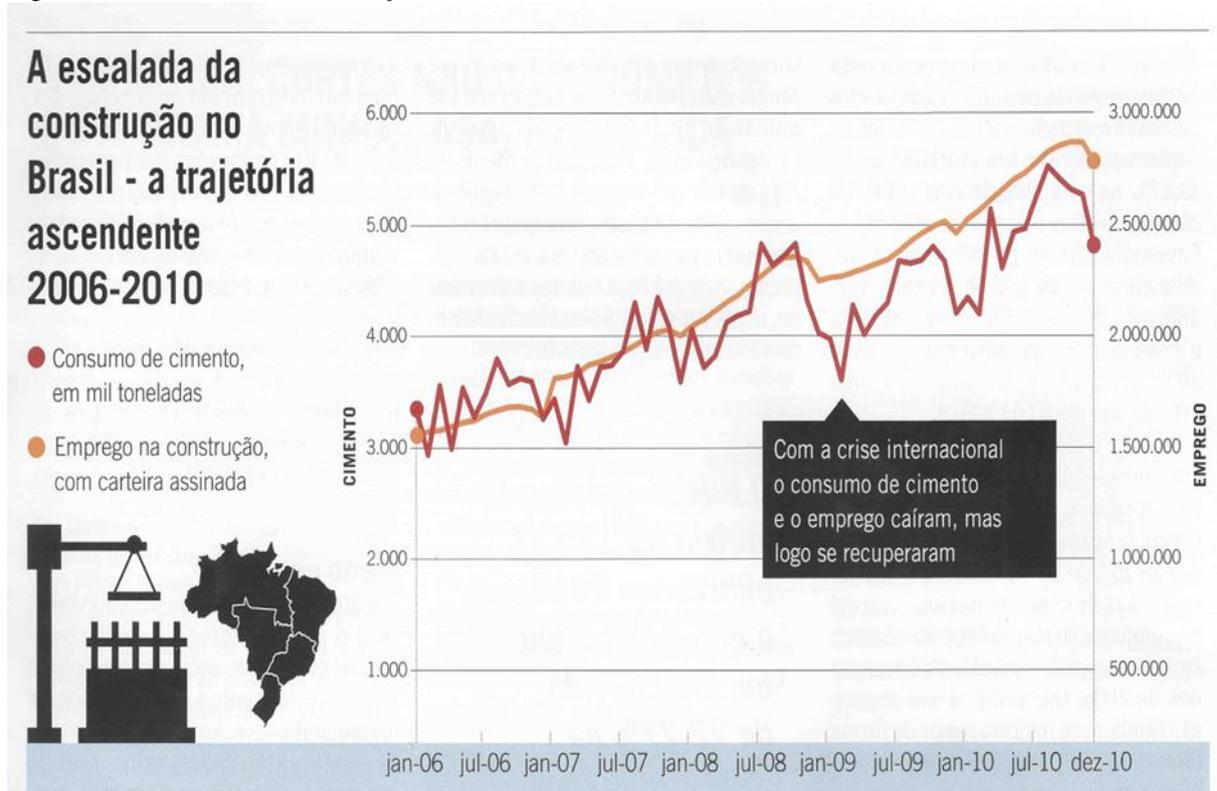
Fonte: Adaptado de Nascimento e Santos (2003).

No período que antecedeu a crise econômica de 2009 houve a especulação de que haveria um *boom* imobiliário no país. Com o advento da crise, houve uma diminuição momentânea nos investimentos na construção, porém, a partir de ações governamentais, como a diminuição de impostos para materiais de construção, já no ano de 2010 o setor da construção voltou a crescer de maneira acentuada. É o que afirma o Boletim Trabalho e Construção do DIEESE (2010):

Em 2010, a retomada do crescimento econômico em patamar superior ao verificado nos últimos anos – após uma momentânea interrupção por conta da crise internacional em 2009 – tem propiciado uma melhora, ainda que de forma e intensidade diferenciadas, dos mercados de trabalho. Nesse contexto, a Construção Civil tem sido um dos principais carros-chefe do crescimento econômico atual, impulsionada pela recuperação dos investimentos, maior facilidade de acesso ao crédito e prorrogação da isenção do Imposto sobre Produto Industrializado – IPI para material de construção até dezembro de 2010.

A Figura 2 mostra a trajetória de crescimento da construção no Brasil entre 2006 e 2010 por meio da evolução no consumo de cimento e no nível de empregos formais. Em geral o gráfico é ascendente, porém marcado por alguns períodos de menor atividade, como em 2009. Em 2012 este gráfico deve ter ascendência mais suave devido à continuidade da crise nos países europeus e nos EUA, que acaba tendo influência sobre a economia brasileira e, conseqüentemente, sobre a indústria da construção civil.

Figura 2 – Crescimento da Construção Civil no Brasil entre os anos de 2006 e 2010.



Fonte: Revista Conjuntura da Construção (2011).

O impulso da construção civil e seu atual grau de atividades têm também sido consequência da implantação de programas habitacionais de grande porte, como Minha Casa Minha Vida (MCMV). Em seu lançamento o programa tinha por meta a construção de 1 milhão de moradias. Já em sua segunda fase, o objetivo é a construção de 2 milhões de unidades habitacionais.

Para combater efetivamente o déficit de habitações, um programa deste porte também deve estar aliado ao desenvolvimento de sistemas construtivos, que possam atender à demanda pela construção de imóveis com qualidade e a preços acessíveis à população mais carente. Tais sistemas devem ser avaliados quanto à sua construtibilidade, à medida que sistemas com melhor relação de interação entre as fases projetual e construtiva estão menos

sujeitos a apresentarem um desempenho que não corresponda às reais necessidades da população.

Segundo Zechmeister (2005), *apud* Roncy (2012) “O desafio do atendimento da demanda crescente por habitações requer da indústria da construção civil a habilidade de maximizar a construtibilidade e minimizar tempo e custo, sem a perda de desempenho do produto final”.

Neste contexto, o uso de famílias de blocos cerâmicos para alvenaria, que incorporem características de racionalização construtiva e coordenação modular surge com destaque no meio técnico, pois se trata de sistema que utiliza matéria-prima tradicional e, ao mesmo tempo, pode dispor de recursos técnicos mais apurados, que possibilitam a construção de moradias a partir da adoção de sistemas de gestão da construção modernos. Serra e Sousa (2000), do Centro Tecnológico de Cerâmica e Vidro em Portugal, mostra as expectativas com relação ao futuro da produção e uso de tijolos cerâmicos:

O tijolo de alvenaria é cada vez mais um produto técnico com características e comportamento em obra mais exigente e, por isso mesmo, sujeito a disposições regulamentares e especificações próprias. No futuro o tijolo cerâmico irá evoluir nas suas características, nomeadamente na geometria, permitindo cada vez mais uma construção “inteligente”, com facilidade de aplicação em obra, permitindo a construção de outros elementos estruturais, a instalação de redes de águas, esgotos, eletricidade e comunicação. Isto é possível dadas as propriedades da cerâmica como material exceção para a conformação de geometrias e posterior resistência mecânica após a cozedura.

Fazendo um paralelo com o que vem ocorrendo no estado do Ceará, por conta da demanda crescente por materiais que permitam uma melhor racionalização da construção, parece ser possível afirmar que, também neste estado, há um esforço, pelo menos por parte das empresas cerâmicas de maior porte, para que seja possibilitada a produção de blocos cerâmicos que apresentem melhores características de modulação e conectividade com os demais subsistemas construtivos. Isto se verifica, principalmente, na produção de tijolos para alvenaria estrutural, que são fabricados em famílias, onde cada elemento desempenha uma função específica na elevação da parede. Há blocos projetados para atender ao sistema de modulação. Há também os elementos ditos blocos-calha, usados na confecção de vergas, contra-vergas e cintas para fundação e de coroamento. Além disso, os tijolos estruturais, por apresentarem furação vertical, permitem a passagem de tubulações elétricas em seu interior, evitando assim que haja quebras posteriores nas alvenarias para que os tubos sejam embutidos.

No Ceará, em grande parte, a adoção destas inovações vêm sendo impulsionada pelas construtoras da cidade de Fortaleza que, ao adotarem sistemas de gestão que procuram minimizar as perdas no canteiro de obras, tendem a demandar por sistemas construtivos mais limpos e racionais, como é o caso da alvenaria estrutural. Na Figura 3 é apresentado um edifício em Fortaleza construído neste sistema.

Figura 3 - Edifício em Fortaleza construído em alvenaria cerâmica estrutural.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Com o crescimento da procura por blocos e a exigência de sua produção em famílias ou com detalhes que favoreçam a racionalização da obra, as empresas cerâmicas cearenses se viram obrigadas a adaptar-se para atender a esta demanda. Este quadro provocou inovações nos sistemas em alvenaria no Ceará, despertando o interesse de pesquisadores, técnicos, órgãos financiadores e do meio industrial cerâmico para o aperfeiçoamento da produção dos blocos e sua aplicação na obra.

O projeto MEHIS (Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais), desenvolvido no DEECC-CT-UFC, que integrou a Rede 2 do Projeto HABITARE (Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias Construtivas para Habitações de Interesse Social) também tomou parte neste processo, pois teve como meta estudar os sistemas construtivos tradicionais, buscando seu aperfeiçoamento, ou mesmo o desenvolvimento de novos processos construtivos, para reaplicá-los de modo mais racional

em habitações populares. As alvenarias cerâmicas foram apontadas como principal foco de estudo, justamente pelas características de racionalidade que podem apresentar e pelo grau de disseminação de sua cadeia produtiva no estado.

O MEHIS, por sua vez, foi antecedido por outro projeto, o HISCE (Um Modelo de Habitação de Interesse Social para o Estado do Ceará). Este, também desenvolvido do DEECC-UFC, realizou uma sondagem inicial de diversos sistemas construtivos para HIS, na busca de verificar aqueles que melhor se adequavam às características específicas do estado. Observados critérios técnicos e de adaptação à realidade da cadeia produtiva local, foram selecionados, após um estudo comparativo, três sistemas: alvenaria cerâmica de vedação; alvenaria cerâmica estrutural e alvenaria estrutural em blocos de concreto. A Figura 4 ilustra componentes dos três sistemas apontados pelo HISCE.

Figura 4 - Exemplo de componentes dos sistemas selecionados pelo HISCE



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Os estudos realizados pelos projetos HISCE e MEHIS também levaram à necessidade de se desenvolver um sistema em alvenaria cerâmica que fosse capaz de reunir qualidades como modulação e conectividade, sem perder, entretanto, características dimensionais próprias dos sistemas de alvenaria adotados localmente. Tal sistema teria configuração geométrica similar a da alvenaria estrutural, porém com desenho e processo construtivo próprios. Os blocos fabricados a nível nacional possuem dimensões de espessura que varia de 11,5cm a 19 cm (ABNT NBR 15270), sendo que pode-se fabricar blocos e edificar construções utilizando tijolos de vedação com espessura mínima de 9cm (ABNT NBR 15270).

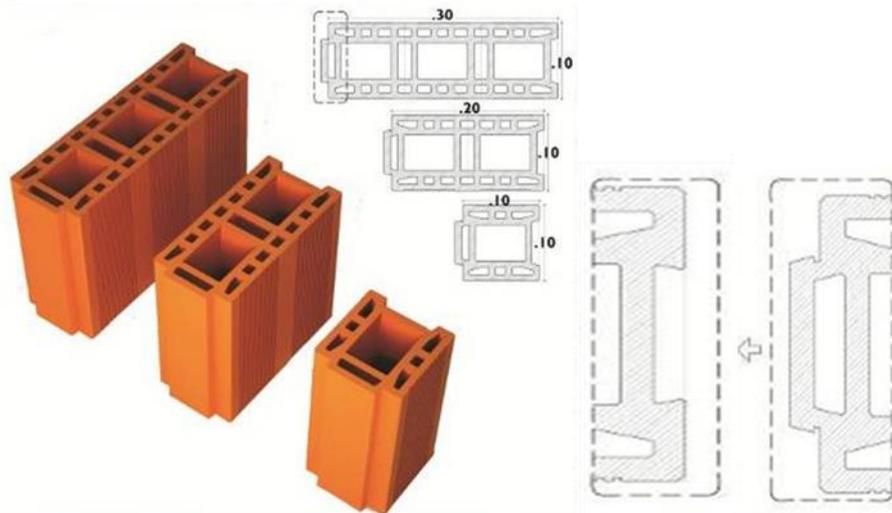
Os elementos cerâmicos do sistema construtivo desenvolvido pelo projeto MEHIS apresentam espessura de 10cm, adequada à estabilidade estrutural de edificações de dois

pavimentos e compatível com as diretrizes da norma ABNT NBR 15873 – Coordenação Modular para Edificações.

Outra particularidade do sistema é sua sistemática de encaixe. Já existem no Brasil blocos cerâmicos com geometrias que tornam esta possível. O diferencial da família de blocos aqui apresentada é que o encaixe pode, quando necessário, ser removido. Isto por meio de um impacto mecânico em um setor propositalmente mais frágil da peça. O encaixe torna desnecessária a execução de junta vertical de argamassa na alvenaria, sendo que os blocos são unidos por encaixe na face de 10cm, correspondente à espessura do componente.

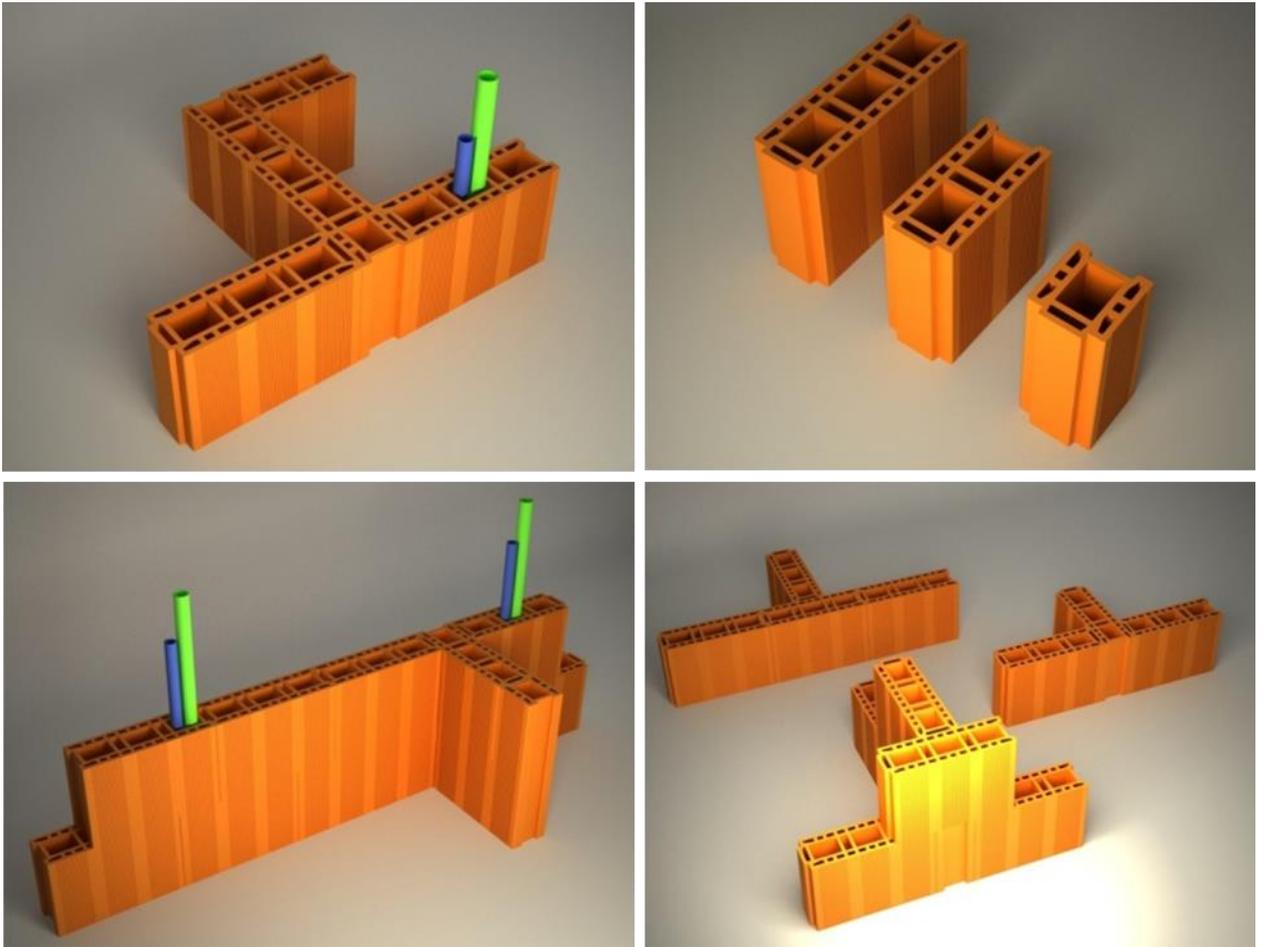
Outro diferencial do sistema é a amarração no contra-fiado, que se dá a um terço. Isto, vista a geometria dos septos dos blocos, garante a passagem de tubulações pelo interior dos mesmos. Por último, uma característica importante deste sistema é a de que seu componente de maior peso pode facilmente ser manuseado por um operário, devido à sua espessura(10cm) e a sua massa(cerca de 4,5kg), que não exigem esforço maior deste. A Figura 5 mostra os elementos do sistema com suas dimensões e a sistemática de encaixe. Já a Figura 6 exhibe as ligações de paredes em “T” e “L” e a possibilidade da passagem de tubulações elétricas pelo interior das alvenarias, como ocorre no sistema de alvenaria estrutural.

Figura 5 - Componentes do sistema em estudo e detalhe de encaixe.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Figura 6 - Ligações entre paredes e passagem de tubulações.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

O processo de desenvolvimento do sistema acima, que incluiu a concepção, o projeto, a produção e a utilização de seus elementos, é mostrado no Capítulo 5 deste trabalho. São também apresentados ensaios nos blocos e no protótipo construído.

1.2 Justificativa

Nas últimas décadas o crescimento urbano do Brasil tem sido intenso. Isto vem ocorrendo a partir do deslocamento da população do campo para as cidades, levando a um incremento populacional das áreas urbanas. Fortaleza, por exemplo, que no início dos anos 50 tinha cerca de 200 mil habitantes, chegou a aproximadamente dois milhões e meio de habitantes em 2010, segundo dados do último censo do IBGE. Estas mudanças têm provocado muitos problemas ligados à moradia: coabitação, habitações precárias, autoconstrução desordenada, falta de infraestrutura de saneamento, dentre outros. Tais fatores pioram gradativamente o problema do déficit habitacional do país.

Com a magnitude deste déficit e do valor do investimento necessário para eliminá-lo, é preciso continuamente estudar e desenvolver produtos e processos para HIS que possibilitem a produção em massa, de tal forma a aumentar a produtividade e a melhoria da qualidade, refletindo diretamente na redução de custos e, por conseguinte, na diminuição dos recursos financeiros necessários ao financiamento destes empreendimentos. A produção em massa está ligada à produção em série, que, por sua vez, relaciona-se diretamente com um processo industrializado. Sendo assim, é fundamental o estudo de formas de viabilizar a criação de uma indústria local que desenvolva os sistemas e os comercialize tanto para o poder público quanto para a iniciativa privada. (MEHIS, 2010)

O Brasil necessita de forma urgente combater seu déficit habitacional, pois a moradia é essencial para o bem estar das famílias. O país deve aproveitar sua boa fase econômica para acelerar o processo de construção de habitações de interesse social. A construção civil tem um papel fundamental no desempenho da economia. O aumento da produção neste setor traz benefícios para o desenvolvimento econômico do país, à medida que sua extensa cadeia produtiva tem influência sobre uma diversa gama de empresas.

O incentivo governamental ao crescimento deste setor, com a construção de habitações populares é fundamental para que este seja sustentável. Em paralelo aos financiamentos públicos para habitação também deve ser incentivado o desenvolvimento de novos sistemas construtivos, que possam, de maneira racional e mais econômica, garantir a construção de habitações de melhor qualidade para a população.

Segundo Roman (2001), avanços consideráveis na pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas construtivas utilizando a alvenaria estrutural com eficiência e economia, comprovam que este processo já ultrapassou a fase em que eram utilizados métodos artesanais e dispendiosos, firmando-se como uma opção nova, de moderna tecnologia e adequada a países em desenvolvimento. A importância da alvenaria, agora fundamentada na escolha

econômica dos materiais, na adoção de métodos de cálculos corretos e de técnicas construtivas adequadas, está aumentando grandemente entre profissionais da área de construção em todo o mundo.

A universidade, através de suas pesquisas e cursos de pós-graduação voltados para a área habitacional, em sintonia com as demandas do mercado, as novas tecnologias e as necessidades das famílias brasileiras, pode cooperar de maneira significativa para o trabalho de aperfeiçoamento, desenvolvimento e análise de novos sistemas construtivos.

O presente trabalho se propõe a colaborar com esta tarefa, analisando, sob a ótica da construtibilidade, um sistema desenvolvido para habitação de interesse social, utilizando o conceito de coordenação modular. A análise da construtibilidade pode ser entendida aqui como forma de, integrando melhor as fases de projeto e construção, promover a eliminação de erros e improvisos, para proporcionar a melhoria contínua na construção de habitações.

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é analisar um sistema construtivo modular em alvenaria cerâmica sob a ótica da construtibilidade.

Os objetivos específicos estão listados abaixo:

- Estudar o conceito de construtibilidade e os fatores que podem influenciá-la;
- Apresentar o processo de desenvolvimento de um sistema modular em alvenaria cerâmica;
- Realizar estudo de campo que observe as particularidades do sistema e de seu processo construtivo quanto aos aspectos relacionados à sua construtibilidade.

1.4 Estruturação da Dissertação

A dissertação está dividida em sete capítulos além das referências e anexos.

No **Capítulo 1** é exposto o contexto no qual o trabalho se insere, o problema da pesquisa e seus objetivos.

O **Capítulo 2** traz a metodologia adotada no trabalho em paralelo ao delineamento da pesquisa.

Os **Capítulos 3 e 4** apresentam a revisão bibliográfica realizada sobre a construtibilidade e os fatores que podem influenciá-la.

O **Capítulo 5** expõe uma síntese do processo de desenvolvimento do sistema analisado neste trabalho.

O **Capítulo 6** trata da análise do sistema segundo a ótica da construtibilidade.

O **Capítulo 7** traz as considerações finais. Nestas são feitos comentários sobre de que forma os objetivos propostos foram alcançados, além da inclusão de sugestões para futuros trabalhos.

Referências Bibliográficas e Anexo compõem o corpo final do trabalho.

2 METODOLOGIA

2.1 Critérios de Pesquisa

Para a formulação da metodologia de trabalho a presente pesquisa obedece a uma série de critérios que caracterizam o seu delineamento e a forma de abordagem da análise proposta.

Quanto à sua natureza a pesquisa é aplicada, à medida que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de um problema específico (GIL, 1991).

Quanto à forma de abordagem este trabalho é qualitativo, pois a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas, e não requerem o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de informações e o pesquisador atua diretamente no estudo da problemática em análise (GIL, 1991).

A pesquisa também é descritiva e a análise dos dados se dá indutivamente, ou seja, a obtenção do conhecimento geral é proposta a partir de observações de caso da realidade concreta e as constatações particulares levam à elaboração de generalizações. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem. (GIL, 1999)

Do ponto de vista de seus objetivos a pesquisa é exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo explícito. Envolve levantamento bibliográfico, documental e análise de exemplos que estimulam a compreensão. Isto tem como consequência a adoção dos procedimentos técnicos (GIL, 1999), da pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e estudo de caso.

No critério local de realização a pesquisa se dá tanto em laboratório quanto em campo.

A Figura 7 destaca alguns dos critérios adotados neste trabalho.

Figura 7 - Seleção de critérios utilizados na pesquisa

CRITÉRIOS DE PESQUISA				
FINALIDADE	OBJETIVOS	PROCEDIMENTOS	NATUREZA	LOCAL DE REALIZAÇÃO
BÁSICA	EXPLORATÓRIA	BIBLIOGRÁFICA	QUALITATIVA	CAMPO
APLICADA	DESCRITIVA	DOCUMENTAL	QUANTITATIVA	LABORATÓRIO
	EXPLICATIVA	EXPERIMENTAL		
		ESTUDO DE CASO		

Fonte: Autor

2.2 Etapas da Metodologia

A metodologia adotada divide-se nas seguintes etapas:

-Revisão Bibliográfica

Estudo de textos relacionados à temática da pesquisa, procurando avaliar seu conteúdo, a fim de fundamentar e aprofundar os conceitos abordados.

-Pesquisa Documental

Pesquisa documental em material proveniente dos Projetos de Pesquisa (HISCE e MEHIS - DEECC - CT - UFC) e outras fontes como catálogos técnicos, mapas e textos de publicações técnicas.

-Estudo de Caso

Acompanhamento intensivo, registro, avaliação e sugestões de melhoria das fases de Projetação e Execução de um Protótipo Construtivo.

-Análise

A partir dos estudos e acompanhamento realizados, avaliar qualitativamente a construtibilidade do protótipo desenvolvido pelo Projeto MEHIS. Estudo de caso e análise valeram-se de registros fotográficos, de plantas e de anotações de campo, por ocasião da construção do protótipo e da elaboração de seu projeto.

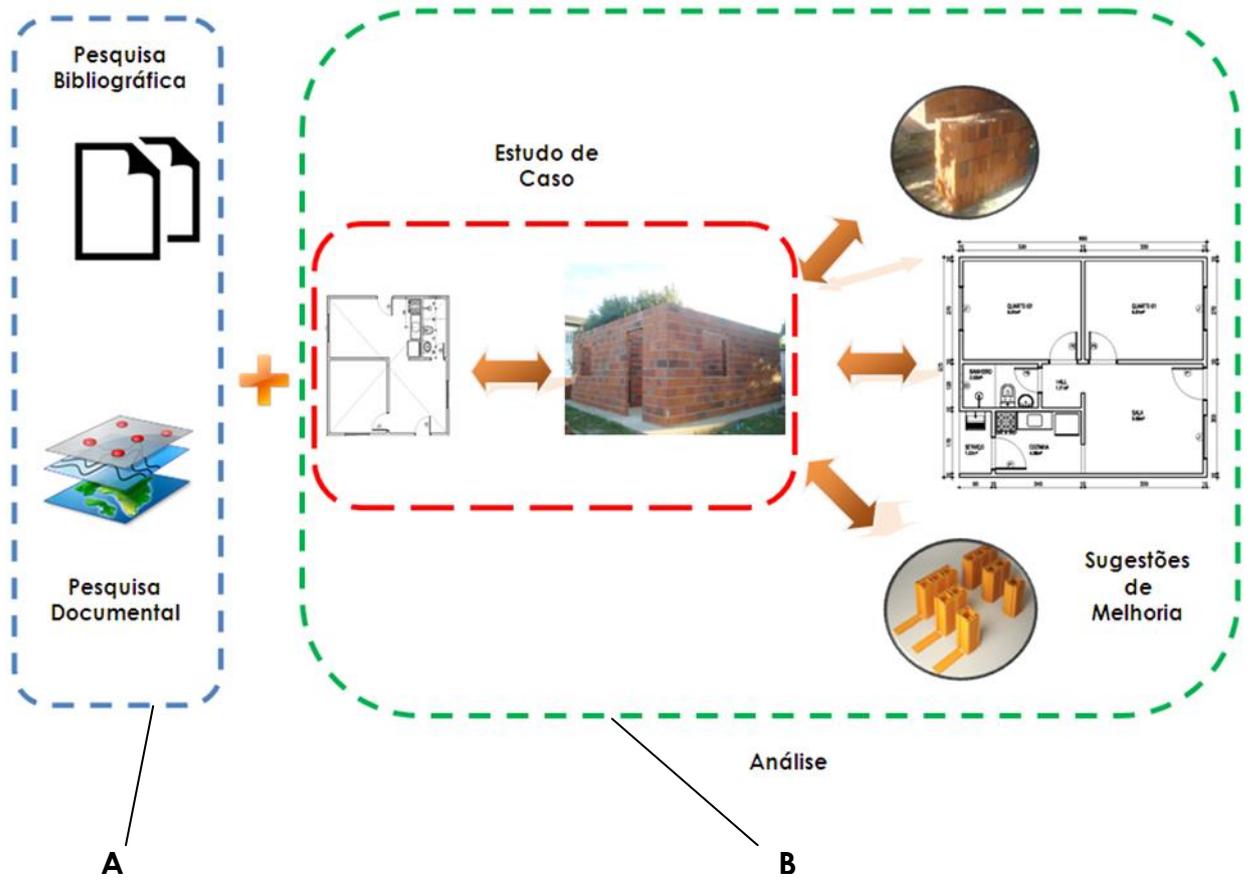
O Quadro 1 mostra as etapas de investigação do trabalho e a Figura 8 traz a representação esquemática da metodologia adotada. Neste, a parte A é relativa a pesquisa em livros, trabalhos acadêmicos e outras fontes escritas. Já a parte B corresponde à análise em si, realizado a partir do estudo projetual integrado ao trabalho de campo.

Quadro 1 - Etapas da metodologia.

ETAPAS	ATIVIDADES
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	Pesquisa Bibliográfica a partir de livros, artigos de periódicos e publicações científicas disponibilizadas na Internet.
PESQUISA DOCUMENTAL	Pesquisa Documental: a partir de material isento de tratamento analítico.
ESTUDO DE CASO	Acompanhamento e avaliação intensivos do objeto de estudo, de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.
ANÁLISE	A partir do conteúdo teórico e da observação de campo, realizar análise detalhada e paralela a proposição de melhorias.

Fonte: Autor

Figura 8- Representação esquemática da metodologia adotada



Fonte: Autor

O capítulo 3 seguinte traz um estudo sobre o conceito de construtibilidade.

3 O CONCEITO DE CONSTRUTIBILIDADE

A investigação do conceito de construtibilidade teve por intuito a adoção de uma definição sobre a mesma, à medida do possível unificada, obtida pelo estudo de conceitos apresentados por diversos autores e instituições, que elaboraram trabalhos nos quais foi abordada a temática da necessidade de integração entre projeto e execução de uma edificação. A partir da adoção de uma conceituação comum é que foi possível tecer a análise de construtibilidade a que se propôs o trabalho.

Segundo o *The Construction Industry Institute* (CII, 1986), a construtibilidade baseia-se em princípios que envolvem a integração entre as atividades desenvolvidas ao longo do empreendimento, notadamente as que enquadram-se entre o projeto e as operações executivas, de modo que as vantagens do processo de construtibilidade serão maximizadas à medida que profissionais com larga experiência participarem das etapas iniciais do empreendimento.

Sabbatini (1989) expõe o termo construtibilidade como uma característica de integração entre o projeto e a produção, de maneira que esta gere um fluxo contínuo de informações entre tais etapas, priorizando as necessidades construtivas para racionalizar as decisões projetuais. No mesmo trabalho o autor conceitua construtibilidade como : “propriedade inerente ao projeto de um edifício, ou de uma sua parte, que exprime a aptidão que este edifício (ou sua parte) tem de ser construído”. Sabbatini ilustra o conceito acima com o seguinte texto:

Um edifício tem um grau superior de construtibilidade se o seu projeto descer a um nível tal de detalhamento construtivo que demonstre perfeitamente como ele deverá ser construído. Por outro lado, um edifício apresenta um grau inferior de construtibilidade quando a simplicidade do seu projeto, traduzida pela precariedade de informações, obriga a que a quase totalidade das decisões sobre como construí-lo tenha de ser adotada pelos construtores, por aqueles que irão atuar diretamente na execução da obra. (SABBATINI, 1989).

Para Heineck e Rodríguez (2002) construtibilidade trata-se do “emprego adequado do conhecimento e da experiência técnica em vários níveis para racionalizar a execução dos empreendimentos, enfatizando a inter-relação entre as etapas de projeto e execução”. Heineck e Rodríguez (2003) enfatizam a necessidade da utilização da experiência na construção pelos setores de gestão e de gerenciamento da obra na realização do planejamento inicial, dos detalhamentos de projeto bem como da execução das operações em canteiro.

Outros autores também apresentam a construtibilidade como ação integradora entre projeto e execução:

A aplicação de forma otimizada dos conhecimentos e das experiências da construção durante as fases iniciais do projecto, de planeamento e concepção, de forma a facilitar o cumprimento dos objectivos do projecto. “A Construtibilidade tem por objectivo a aplicação dos conhecimentos da construção e da experiência construtiva de uma forma planejada e estruturada ao longo do período de vida do projecto. A Construtibilidade leva os conhecimentos e a experiência da construção ao projecto, otimizando os processos e métodos construtivos durante a obra, dentro dos contornos dos objectivos e necessidades do projecto. (CAMPOS, 2002).

A construtibilidade é permitida quando há uma maior comunicação entre projeto e obra; desenvolvimento de seqüências construtivas; padronização dos materiais; acessibilidade aos locais de trabalho; liberação das montagens em qualquer seqüência executiva; eliminação de embutimentos e sobreposições de elementos construtivos; respeito a nível, prumo e esquadro; uso de materiais convencionais; o uso de materiais locais, requerendo mão-de-obra facilmente encontrada; são paradigmas ou requisitos desta teoria. (ROMAN et al., 2000).

O meio científico expõe ainda os termos facilitação ou simplificação da construção como características de uma edificação que nas fases de projeto e execução apresentam construtibilidade. Vivan (2011) cita alguns autores que enfatizam esta afirmação:

“ ... os conceitos e princípios da construtibilidade quando aplicados durante a fase de concepção, projeto, produção e uso podem tornar o processo de construção mais fácil de administrar, mais rápido e mais rentável (GRIFFITH; SIDWELL, 1997).

“ ... é fato que a adoção do conceito de construtibilidade na fase de projeto implica na necessidade por parte dos projetistas de considerarem as alusões construtivas neste processo, o que teoricamente resultaria em soluções projetuais que simplificariam o processo de construção (MELHADO; FABRÍCIO, 1998).

Para Peixoto (2000) a construtibilidade pode ser entendida de forma sintética como sendo o grau de facilidade com que algo pode ser construído.

Construtibilidade é a facilidade com que uma edificação pode ser construída a partir da consideração dos requisitos do processo produtivo ao longo de todas as etapas de desenvolvimento do produto(RODRIGUES, 2005).

Considerando as diversas abordagens sobre o termo construtibilidade apresentadas acima, parece ser, pois, possível, a partir da convergência e fusão de informações, propor o seguinte conceito: Construtibilidade pode ser entendida como sistemática de integração da construção, à medida que, considerando a experiência e o conhecimento dos profissionais, constitui-se num fluxo de informações entre projeção e execução, com as conseqüências de

melhor detalhamento da etapa de projeto e maior facilidade na fase executiva de uma edificação.

As informações para o aperfeiçoamento da construtibilidade podem vir de fontes externas, como as geradas por consultorias ou por técnicos que representem produtos com procedimentos executivos mais eficientes. A melhoria da construtibilidade também pode se dar por fontes internas, por exemplo, a dos profissionais envolvidos diretamente na fase operacional, à medida que estes apliquem nos sistemas construtivos a prática adquirida em serviços anteriores ou mesmo desenvolvam uma técnica aperfeiçoada ao longo da execução.

A Figura 9 ilustra o conceito exposto, onde a construtibilidade é entendida como ferramenta de integração entre projeto e execução, que alimenta ambas as etapas com experiência e conhecimento para facilitar e simplificar a construção. O círculo azul representa o universo da construção, no qual estão contidas as etapas de projeção e execução. As setas representam o fluxo de informações proporcionado pela dinâmica da construtibilidade.

Figura 9 - Representação gráfica do conceito de Construtibilidade.



Fonte: Autor

Exposto o conceito de construtibilidade, será apresentado no Capítulo 4 um estudo dos fatores que podem influenciá-la.

4 FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR A CONSTRUTIBILIDADE

Este capítulo considera uma série de fatores que podem influenciar a construtibilidade. Os itens 4.1 a 4.6 explanam a coordenação modular, a racionalização construtiva, a construção enxuta, a coordenação e a integração de projetos, o projeto para produção, o desempenho e os recursos de obra, como fatores intervenientes, em maior ou menor intensidade, nas características de construtibilidade de um sistema construtivo.

4.1 Coordenação Modular

Para levar à construção civil as mesmas vantagens que os processos modernos de industrialização hoje apresentam, é necessário um sistema capaz de ordenar a construção desde o projeto e fabricação dos componentes até a execução da obra. Isto deverá ocorrer tanto para a construção tradicional, com a aplicação dos componentes normalizados já de acordo com esse sistema, como também para os processos de pré-fabricação – parcial ou total – estabelecendo-se para esses processos o intercâmbio de seus componentes. Esse sistema, capaz de atender ao que foi exposto, é a Coordenação Modular da Construção.(BNH,1978).

O texto acima é trecho da obra “Coordenação Modular na Construção Civil” publicada pelo extinto Banco Nacional da Habitação (BNH) ainda em 1978. Apesar de ter mais de 30 anos, este texto poderia ainda ser considerado atual. Esforços têm sido feitos em iniciativas diversas de pesquisadores, órgãos públicos e entidades privadas, mas a adoção de ferramentas de projeto e execução como a coordenação modular, ainda precisa de grande impulso para ser efetivamente implementada.

Greven(2007) define a coordenação modular aplicada à construção de maneira simples e direta como “a ordenação dos espaços na construção civil”. No mesmo trabalho afirma-se que a coordenação modular é um instrumento importante para possibilitar os níveis de racionalização e normalização pretendidos, e estabelece ainda uma linguagem gráfica, descritiva e de especificações que é comum a fabricantes, projetistas e construtores, sendo aplicada nas diversas etapas da produção, desde a concepção inicial até a sua execução (GREVEN, 2007).

A modulação é necessária à medida que, a partir dela, pode-se reduzir o desperdício de materiais. Isto se deve ao fato de que, com o uso do módulo, evita-se o corte ou quebra de tijolos e de outros componentes como cerâmicas de revestimento de piso ou parede.

Uma obra que obedece a um sistema de coordenação modular passa a ter menor possibilidade de erro de medidas. O fato dos cortes serem evitados ocasiona maior limpeza do

canteiro. O uso de peças específicas para modulação e amarração das paredes, para instalações elétricas e para as vergas nos vãos de portas e janelas dinamiza a construção.

Greven e Baldauf (2007) relatam que, a partir da segunda metade do século XX, surge uma nova abordagem da coordenação modular baseada na intercambialidade de componentes, que, embora produzidos por indústrias diferentes, passam a ser compatíveis entre si em função de uma padronização dimensional. De fato, com a coordenação modular os subsistemas e componentes construtivos passam a gozar, respectivamente, de maior potencial de conectividade e intercambialidade, à medida que os mesmos podem interligar-se de forma mais precisa, com um alto grau de compatibilidade dimensional.

A coordenação modular é apontada por Rocha (2000), como de importância fundamental no processo de projeção em alvenaria.

Quando o processo construtivo é em alvenaria estrutural, a coordenação modular torna-se etapa imprescindível de projeto. Os cuidados com relação à modulação devem ser tomados para garantir a racionalização da construção e permitir o alto índice de produtividade que este processo é capaz de atingir, além de reduzir a quantidade de ajustes e corte de blocos.

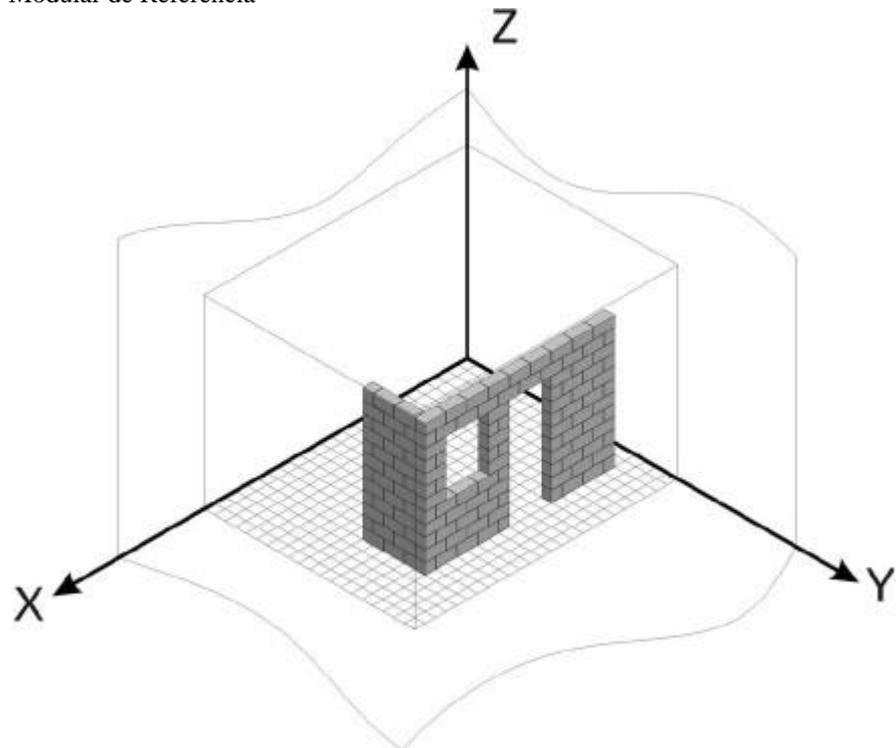
Franco (1992), *apud* Rocha (2000), também relata que a prática da coordenação modular influencia diversas fases do empreendimento, pois, se por um lado permite a introdução de procedimentos padronizados na execução e aumenta a precisão com que se produz a obra, por outro simplifica a execução do projeto, já que possibilita a criação de métodos de execução e a padronização de detalhes.

A potencialidade e as vantagens da ferramenta de projeto coordenação modular devem ser exploradas pelos projetistas. A utilização de reticulado de referência para as modulações horizontal e vertical, a adoção do módulo básico de 10cm e o estabelecimento das dimensões dos cômodos a partir de múltiplos do módulo, são de fundamental importância para um projeto de alvenaria bem elaborado.

Camacho (2001) indica que o trabalho de modulação consiste no ajuste das dimensões da obra, horizontais e verticais, como múltiplo da dimensão básica da unidade, cujo objetivo principal é evitar cortes e desperdícios na fase de execução. Nessa fase devem ser previstos os encontros de paredes, aberturas, pontos de graute e ferragem, ligação laje-parede, caixas de passagem, colocação de pré-moldados e instalações em geral.

A Figura 10 traz um reticulado de referência para a coordenação modular de edificações.

Figura 10–Reticulado Modular de Referência



Fonte: (GREVEN e BALDAUF, 2007)

Publicada em 2010 a Norma NBR 15873:2010 - Coordenação modular para edificações- define os termos, o valor do módulo básico e os princípios da coordenação modular para a construção civil. Tal norma pode ser considerada fator de colaboração para a melhoria da construtibilidade das edificações, ao passo que estabelece uma sistemática que incentiva projetistas e construtores a trabalharem de forma integrada, já que a execução passa a relacionar-se com os projetos de forma mais acentuada, tendo que obedecer seu dimensionamento modular.

Também outros entes da cadeia produtiva da construção, como os fornecedores de componentes construtivos, são influenciados pela coordenação modular, pois passam a fabricar produtos que atendam às necessidades dimensionais dos projetos coordenados modularmente.

Por apresentar similaridade com a alvenaria estrutural e por adotar práticas da alvenaria racionalizada, o sistema analisado neste trabalho incorpora suas características e exigências, sendo a coordenação modular a principal delas.

4.2 Racionalização Construtiva e Construção Enxuta

Sabatini (1989) conceitua Racionalização Construtiva como um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em toda as suas fases. Nesse sentido, racionalizar alvenarias de tijolo cerâmico deve ser um processo que busque trazer melhorias de tempo e qualidade de projeto e execução para estes fatores.

A racionalização do sistema industrial utilizado para a produção de tijolos cerâmicos pode ser o primeiro passo para que se possa alcançar a racionalização na execução das alvenarias em si. Os blocos cerâmicos, as argamassas e os demais elementos da parede de alvenaria devem seguir as recomendações normativas indicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), bem como atender às especificações estabelecidas nos projetos. Com elementos construtivos racionalizados a partir de sua fase de produção, aliados a projetos e técnicas construtivas também dotados destas características, é possível alcançar um grau de racionalização do sistema construtivo como um todo.

Já em relação à Construção Enxuta e seus benefícios para a execução das obras, Heinecket *al*, (2009) definem: “Praticar a produção enxuta é adotar os mesmos princípios do chamado Sistema Toyota de Produção”. Este sistema tem demonstrado eficácia comprovada na indústria automobilística e vem se expandindo para outros ramos da indústria. Na construção civil ganhou a denominação de construção enxuta ou, do original em inglês, *leanconstruction*, a partir de um trabalho do pesquisador finlandês LauriKoskela, de 1992. Este autor afirma que a racionalização construtiva e a *leanconstruction* devem trabalhar juntas em favor da melhoria da construção.

É de primordial importância também a análise dos aspectos de racionalização dos processos produtivos desenvolvendo-os dentro dos princípios modernos de gestão, como é o caso da filosofia da construção enxuta, que se caracteriza pela preocupação, por exemplo, com aspectos como a redução de desperdício, com a geração de valor, com o fluxo de produção (KOSKELA, 1992).

Em seu trabalho Koskela enumera 11 princípios que norteiam a aplicação da produção enxuta nas empresas construtoras. Com a disseminação destes na gestão da construção civil, diversos sistemas construtivos puderam ser submetidos à sua aplicação. Entre eles os de alvenaria cerâmica estrutural e alvenaria racionalizada. Estudo realizado na

Universidade Federal do Ceará procurou cruzar as características da filosofia *lean*, com as da alvenaria estrutural. Eis uma de suas conclusões:

Devido ao seu elevado grau de racionalização, ao seu sistemático processo construtivo e à presença de ferramentas de projeto e execução como a coordenação modular, entre outros fatores, a Alvenaria Estrutural se mostra um sistema construtivo totalmente aplicável à construção enxuta, mas não só isso. Ela apresenta-se como um sistema adequado e que, na verdade, exige o uso da *leanconstruction*, para que possa alcançar todo o seu potencial. Pode-se afirmar até que as características da *lean* são naturalmente aplicáveis à Alvenaria Estrutural. (MONTEIRO, 2010).

O texto acima caracteriza a alvenaria racionalizada, que inclui a alvenaria estrutural, como sistema aplicável à construção enxuta. O sistema construtivo deste trabalho, apesar de ser próprio para alvenaria de vedação, incorpora várias características da alvenaria estrutural no que diz respeito à geometria, modulação e conectividade. É de fato desejável que um sistema dotado de características de racionalização também disponha de um sistema de gestão de obra avançado, como é o caso da *leanconstruction*.

Segundo Lucini (2001) a racionalização construtiva vinculada à construção modular possibilita a resposta a um conjunto de necessidades da produção de edifícios. A saber:

- Repetição de técnicas e processos;
- Redução da variedade de tipos e dimensões;
- Compatibilidade dimensional e tecnológica;
- Conectividade;
- Produção seriada.

A construtibilidade, pois, guarda estreita relação com a racionalização construtiva e a coordenação modular, à medida que estas contribuem para elevar o seu grau no processo de construção de uma edificação.

A *leanconstruction*, por sua vez, também contribui para a construtibilidade. Heinecket al (2009) enumera os 14 princípios de Liker relativos à construção enxuta. O 14º afirma que as empresas devem tornar-se organizações de aprendizagem, pela reflexão constante (*hansei*) e melhoria contínua (*kaizen*). Tais princípios estão de acordo com a dinâmica de melhoria a cada novo projeto-execução proporcionada pela construtibilidade, que baseia-se na aprendizagem adquirida pela experiência, e na reflexão, pela observação, para

dotar os projetos de um nível de informação e detalhamento que proporcionem uma execução simplificada.

4.3 Coordenação e Integração de projetos

A coordenação de projetos gera melhorias no processo de concepção do projeto. Assim, as melhorias relativas ao detalhamento e apresentação de projetos referem-se ao surgimento de uma série de projetos que normalmente não eram utilizados pelas empresas. Estes projetos têm como objetivo compatibilizar o projeto com a execução, por meio da antecipação de muitas soluções que tradicionalmente eram deixadas para a etapa de produção. Também visam melhorar a forma de expressão e comunicação das soluções e especificações, aperfeiçoando sua objetividade, clareza e interpretação, facilitando sua utilização correta na etapa construção. (SCARDOELLI, 1995).

O texto de Scardoelli enfatiza a importância da coordenação de projetos no processo de compatibilização entre projeto e execução, item essencial para a obtenção de uma boa construtibilidade. A alvenaria estrutural cerâmica tem na integração e coordenação de projetos fatores inerentes ao próprio sistema construtivo. Sobre este assunto o Manual de Tecnologia da empresa BRIKA (1999) expõe:

O processo construtivo em alvenaria estrutural deve ser concebido – sempre que possível – a partir da coordenação dos projetos. Este sistema aumenta a confiabilidade do processo, eleva a qualidade do projeto global e da construção, além de diminuir as incertezas nas atividades. Mas esses resultados só serão efetivos se o projeto reunir todas as informações necessárias para o planejamento, que permite prever inclusive quais as medidas a adotar para a racionalização e controle de qualidade dos processos de execução.

O manual também enumera os resultados alcançados com a coordenação de projetos:

- Integração dos participantes do projeto e a troca de informações durante as diversas etapas do empreendimento;
- Controle das etapas de desenvolvimento do projeto com o objetivo de garantir obras de acordo com os custos, prazos e especificações técnicas previamente definidos;
- Processos coordenados de forma a solucionar as interferências entre as partes do projeto elaboradas pelos distintos projetistas;
- Coerência entre o produto projetado e o modo de produção, com especial atenção para a tecnologia do processo construtivo utilizado.

A alvenaria cerâmica estrutural e a racionalizada exigem projetos de concepção própria, isto é, projetos concebidos para construções a serem executadas especificamente para este sistema. Isto pode ser constatado claramente quando se trata dos projetos de instalações prediais, onde as tubulações percorrem caminhos e trechos da alvenaria que não poderiam ser vencidos sem a quebra das paredes em edificações que utilizam a alvenaria comum.

A busca de compatibilização com os projetos estruturais e de instalações deve ser constante e feita por um sistema de coordenação de projetos eficiente, através do qual o arquiteto e os engenheiros projetistas possam averiguar e resolver possíveis discrepâncias projetuais, gerando projetos que possam ser aplicados em obra sem problemas de incompatibilidade dos elementos de estrutura e das instalações elétricas ou hidrossanitárias. Rocha(2000) escreve sobre o assunto e fornece algumas indicativas usuais em obras de alvenaria estrutural:

“Após a tomada de decisão a favor da alvenaria estrutural, o arquiteto verifica se os seus desenhos estão modulados nas direções horizontal e vertical, de acordo com a família de blocos estruturais escolhida. Nesse estágio torna-se indispensável uma interação estreita entre arquiteto e engenheiro estrutural para verificarem-se possíveis implicações desfavoráveis ao bom desempenho estrutural, já que muitas das definições que no edifício de concreto afetam apenas o subsistema de vedação passam, agora, na alvenaria estrutural, a afetar a estrutura em si. De posse dos desenhos de arquitetura, devidamente modulados, o instalador fará uma planta conceitual prevendo todas as passagens de tubulações verticais. De preferência, criando “shafts” nos banheiros, cozinha ou serviço por onde passarão todos os tubos de queda, colunas de água, tubos de gordura e sabão. No hall de serviço deve-se, também, criar “shafts” para subida de instalações elétricas, telefônicas e televisão. Os medidores de gás, caso existam, devem ficar no hall de serviço. No pavimento térreo devem situar-se o centro de medição elétrica e o quadro geral de telefone”

A construtibilidade beneficia-se da coordenação e integração de projetos, pois, com as discrepâncias e incertezas projetuais sanadas ainda na fase de projeção, a etapa de execução estará definida antecipadamente em todos os seus aspectos.

4.4 Projeto para Produção

O projeto para produção pode ser considerado ponto-chave para se obter uma elevada construtibilidade do sistema de alvenaria. Sem este documento, que reúne as informações detalhadas dos procedimentos construtivos relativos aos diversos projetos, não é possível que se alcance um nível satisfatório de construtibilidade na fase executiva.

Franco (1992) destaca que o planejamento da execução da construção é baseado em informações contidas no projeto, portanto se este não guarda um grau de precisão e detalhescóerentes com a execução, variáveis incontroláveis são introduzidas no planejamento.

Lordsleem Jr. (2000) aponta que:

Uma boa prática é o desenvolvimento do projeto para produção, o qual deve se basear nos recursos, nos procedimentos de execução, caso se tenha, ou no modo de construir da própria empresa. Somente assim, o corpo técnico da empresa terá o domínio e realizará o controle da produção das paredes de alvenaria no canteiro. É consenso que a racionalização da alvenaria de vedação deve iniciar-se pela elaboração de um projeto construtivo, ou projeto para produção, o que permitiria a adoção de soluções adequadas e racionalizadas durante a execução, planejamento e controle, bem como a incorporação de técnicas executivas otimizadas

O autor acima frisa que os sistemas de alvenaria carecem de um projeto para a produção que aponte os procedimentos a serem tomados no sentido de se executar as alvenarias com qualidade e, em havendo erros de execução, o corpo técnico e os operários saibam que caminhos tomar para que as necessárias correções sejam efetuadas.

4.5 Desempenho

Diversos autores realizaram estudos sobre o conceito de desempenho de sistemas na construção civil. San Martin (1999), por exemplo, expõe o trabalho de Cromberg (1975), que enumera três elementos de abordagem de desempenho:

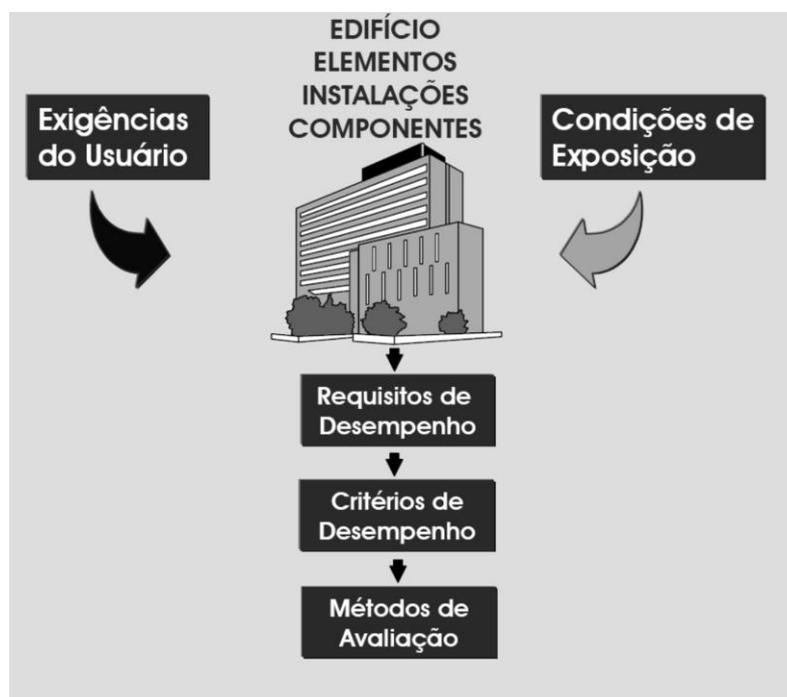
- Características da Qualidade: São as necessidades do cliente, num âmbito amplo e genérico. Devem indicar claramente o que deve ser atingido do ponto de vista do cliente;
- Requisitos de Desempenho: São estabelecidos segundo as características da qualidade, sendo formulados sem a consideração da aplicação de um método, material ou procedimento específico. Possuem uma meta intrínseca, estabelecida por uma definição objetivando que deve ser atingido em termos de desempenho do objeto em avaliação;
- Critérios de Desempenho: Procedimentos para o controle do atendimento dos requisitos de desempenho. Esse controle pode ser realizado através de indicadores de desempenho, que medem esse atendimento de forma qualitativa e quantitativa.

Trabalhos como o de Cromberg contribuíram para a elaboração da Norma ABNT NBR 15575, que, embasada no conhecimento científico produzido ao longo dos anos, fixa que: “As normas de desempenho são estabelecidas buscando atender às exigências dos usuários, sendo que a forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação”.

A Norma estabelece, por definição, que desempenho refere-se ao comportamento em uso de um edifício e de seus sistemas (NBR 15575). O comportamento de um sistema em uso está relacionado com a forma pela qual este é construído. Projeto e execução estão ligados aos procedimentos adotados na construção e aos materiais especificados para a mesma.

No desenvolvimento do sistema MEHIS foram feitos esforços para que o mesmo apresentasse boas características de desempenho, de modo a atender as prescrições da norma para desempenho estrutural e estanqueidade.

Figura 11 - Gráfico que ilustra a abordagem do desempenho estabelecida na norma NBR 15575.



Fonte: Silva, 2004

Os projetos das edificações, a construção das mesmas e, conseqüentemente, sua construtibilidade devem responder aos critérios de desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 15575.

4.6 Recursos da Obra

A capacitação e a experiência da mão de obra exercem influência direta sobre o nível de construtibilidade de um sistema construtivo. Também o uso de ferramentas, equipamentos e materiais apropriados para cada procedimento executivo pode determinar um grau maior ou menor de facilidade para as tarefas operacionais.

As características de construtibilidade num projeto se referem à facilidade com que os recursos do processo de construção, que são mão de obra, equipamentos de produção, materiais e ferramentas podem ser adquiridos pelo executor da obra para concluí-la de forma oportuna e econômica. (GLAVINICH, 1995) *apud* (AMÂNCIO, 2010)

Quando numa construção pode-se contar com profissionais experientes e capazes de assimilar novas técnicas construtivas, a construtibilidade dos sistemas executados tende a ser elevada. Ferramentas e equipamentos específicos para cada processo, somados a materiais que se integram com perfeição ao sistema em uso, são fatores que colaboram para a melhoria da construtibilidade.

Ferguson (1989); Low, Abeyegoonasekera (2001)*apud* Amâncio(2010) expõe a construtibilidade como a capacidade de construir um edifício eficiente e econômico com relação aos materiais, componentes e subconjuntos para os níveis acordados.

Low, Abeyegoonasekera (2001), *apud* Amâncio(2010) escrevem que é necessária preocupação com as atividades de canteiro, e especificamente com a sequência lógica das operações e métodos de construção.

Tecnologias, processos materiais e mão de obra, constituem-se em fatores integrados que podem exercer direta influência sobre a construtibilidade dos sistemas construtivos.

A Construtibilidade traduz-se no desejo de projectar os edifícios e a sua infraestrutura em coordenação com as exigências dos processos e das tecnologias da construção.”(MARTIN FISHER, M.; TATUM, C.B. , 1997)

No capítulo 5 seguinte é apresentado o processo de desenvolvimento do sistema em análise, no qual há participação efetiva do autor deste trabalho.

5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CONSTRUTIVO ANALISADO

Este capítulo faz uma síntese do processo de desenvolvimento do sistema construtivo analisado neste trabalho. O desenvolvimento completo consta no Relatório Final de Pesquisa MEHIS. Aqui são mostradas desde as atividades de coletas de dados em campo, passando pela fase projetual, até sua aplicação num protótipo construtivo, com a realização de ensaios específicos.

O Projeto MEHIS, a fim de desenvolver o sistema construtivo que colocava-se como sua principal meta, teve como atividades principais: A visita a fábricas cerâmicas e a catalogação de componentes colhidos em campo; A visita a obras com o estudo da alvenaria estrutural aplicada. O projeto, produção e ensaios dos componentes cerâmicos desenvolvidos e o projeto e a execução de protótipo foram realizados durante o Mestrado e contaram com a participação do autor desta dissertação.

5.1 Visita a Fábricas Cerâmicas

Esta atividade buscou, a partir de visitas a unidades fabris no Ceará e em outros estados do país, levantar informações que pudessem contribuir para o processo de apropriação de conhecimento, visando a produção dos blocos a serem projetados. A atividade, constituída de visitas técnicas, abrangeu seis eixos de investigação - no Ceará e nos estados do RS, SP, SC e RN - e estudou o processo de produção de componentes cerâmicos para alvenaria, buscando a compreensão do funcionamento das indústrias cerâmicas e as diversas formas de produção de tijolos e blocos.

De maneira geral, o processo de fabricação dos componentes cerâmicos caracteriza-se como de manufatura serial e é realizado em uma sequência básica: extração da argila, pré-preparação e estocagem de matéria prima, preparação e alimentação, extrusão, corte, secagem, queima, estocagem e comercialização.

A caracterização da indústria cerâmica possibilitou a definição de preceitos projetuais que permitiram o estabelecimento de diretrizes propositivas, quando da definição da família dos componentes cerâmicos a ser projetada.

5.1.1 Perfil da Indústria Cerâmica no Ceará

Conforme diagnóstico da FIEC-CE (2002), o setor está presente em 113 municípios, num total de 494 empresas, sendo 324 em atividade, é responsável por mais de 7

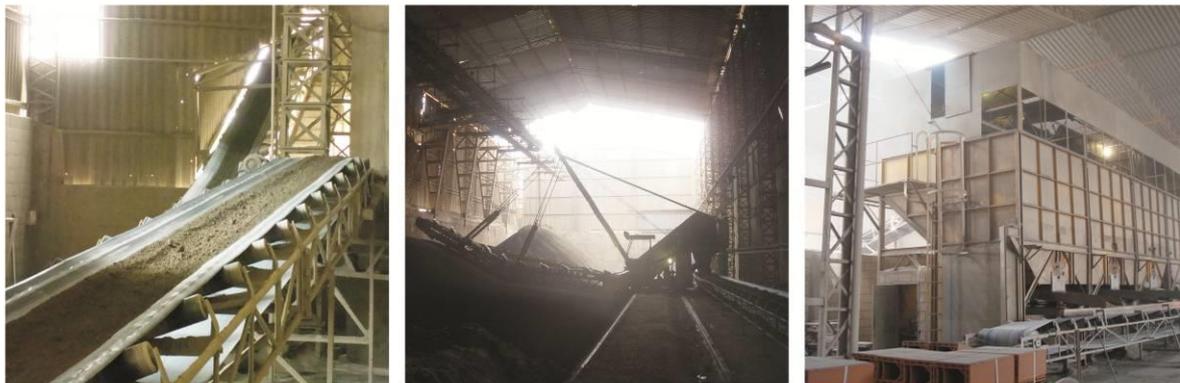
mil empregos diretos, tendo capacidade produtiva mensal superior a 110 milhões de unidades, com a predominância da fabricação de tijolos comuns e telhas. Esses números, contudo, não abrangem a grande quantidade de fábricas de pequeno porte existentes ao longo do território estadual, que, apesar de informais, também acabam por participar da cadeia produtiva.

As fábricas cerâmicas visitadas podem ser classificadas a partir da divisão abaixo.

-Grande Porte

Características: Produção de blocos estruturais e tijolos; linha de produção automatizada; realização de ensaios e controle de qualidade dos elementos produzidos; venda de componentes cerâmicos e serviços construtivos; controle da matéria prima e utilização de estufas para secagem. (Figura 12)

Figura 12 - Indústrias cerâmicas de grande porte.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

-Médio Porte

Características: Produção de blocos estruturais, tijolos e telhas; linha de produção semi-automatizada; realização do controle de qualidade em apenas parte do processo; controle da matéria prima; utilização de sistemas de secagem eletromecânicos (Figura 13).

Figura 13 - Indústrias cerâmicas de médio porte.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

-Pequeno Porte

Características: Produção de tijolos e telhas; linha de produção parcialmente mecanizada; realização de ensaios em parte do processo; ausência de controle de qualidade dos elementos produzidos; produção de elementos despadronizados e secagem por processo natural.(Ver figura 14).

Figura 14 - Indústrias cerâmicas de pequeno porte.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

-Microempresas

Características: Produção de tijolos comuns e telhas; predominância do trabalho informal; produção de elementos de qualidade reduzida; linha de produção manual e/ou semi-mecanizada, inexistência do controle de qualidade, venda em pequenas quantidades e secagem ao natural. (Figura 15).

Figura 15–Microempresas. Da esquerda para direita: Blocos mal cozidos; extrusão em maromba defeituosa; Blocos defeituosos excluídos do processo de queima.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

5.2 Catalogação de Componentes Cerâmicos

Esta etapa teve por foco a catalogação de componentes cerâmicos para alvenaria, seja de vedação ou estrutural, recolhidos durante o período de pesquisa de campo em empresas cerâmicas. A catalogação foi baseada em exemplos de como algumas das principais indústrias cerâmicas do Brasil organizam seus produtos para expor ao consumidor. Foram contempladas na catalogação de cada peça os itens: Tipo de bloco, dimensões e forma das peças e local de origem.

Em relação aos elementos cerâmicos coletados e catalogados, vale salientar que os mesmos foram obtidos em regiões diversas do estado do Ceará e do país. Isto para proporcionar uma ideia, à medida do possível ampla, a respeito das características dimensionais e geométricas dos componentes cerâmicos para alvenaria produzidos em diferentes regiões do Brasil.

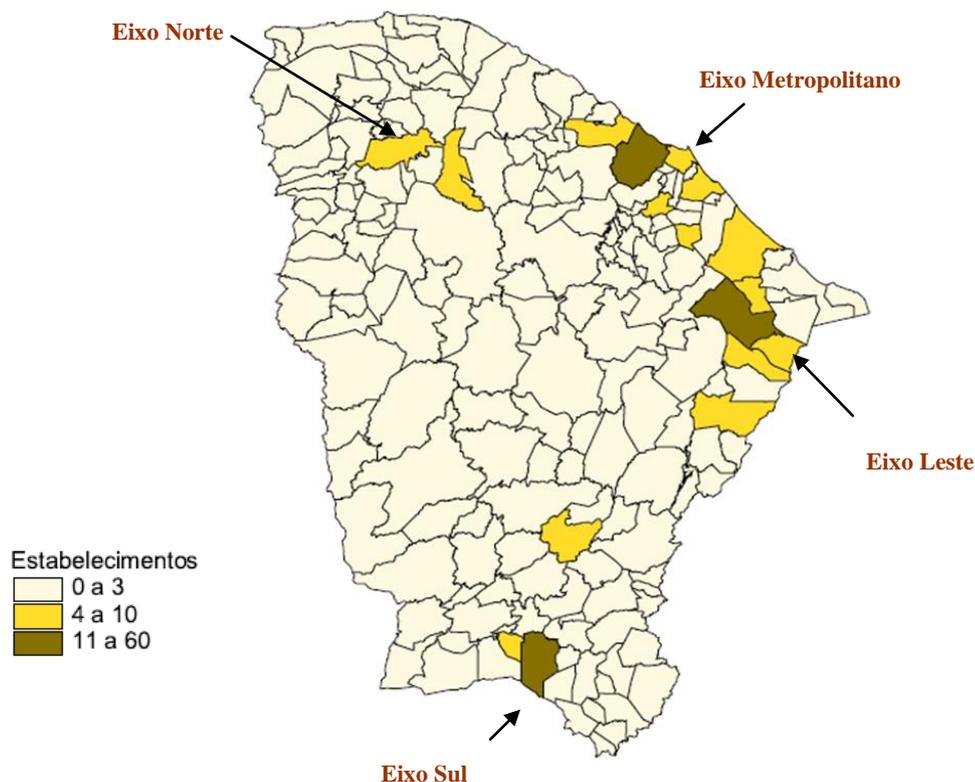
A maioria das peças cerâmicas foi recolhida durante visitas a fábricas no estado do Ceará, em quatro eixos de investigação, a saber: Eixo Metropolitano (Fortaleza e RMF); Eixo Norte (Sobral e municípios vizinhos); Eixo Leste (Baixo Jaguaribe); Eixo Sul (Cariri). Estas regiões são as mais populosas do Estado e são as que concentram o maior número de empresas cerâmicas e mão-de-obra para este tipo de indústria, como mostra a Figura 16.

Um número considerável de peças cerâmicas catalogadas foi obtido durante visitas realizadas a outros estados do Brasil. Há componentes recolhidos em visitas a fábricas do Rio Grande do Norte, São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. As visitas foram programadas e tinham por finalidade, da mesma forma das realizadas no Ceará, investigar o

processo produtivo dos componentes cerâmicos em outras regiões do país e obter dados por meio de levantamento fotográfico, entrevistas técnicas e recolhimento de amostras de peças cerâmicas.

Alguns blocos e tijolos para alvenaria foram obtidos por doação no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Ceará (UFC), como é o caso dos blocos provenientes do estado do Piauí; outros foram coletados em visitas de membros do projeto a outros estados do país, por ocasião de apresentações de trabalhos científicos, a exemplo dos blocos provenientes do estado de Tocantins.

Figura 16 - Mapa do Ceará mostrando os municípios com maior presença de estabelecimentos industriais cerâmicos e a divisão em eixos de pesquisa feita pelo projeto MEHIS.



Fonte: Adaptado de relatório RAIS/CAGED/MTE 2006 e Censo Cerâmico do Ceará, 2002.

Esta etapa do trabalho foi realizada a partir de duas atividades principais:

-Catalogação dos tipos, dimensões e local de obtenção dos blocos coletados nas pesquisas de campo do Projeto MEHIS;

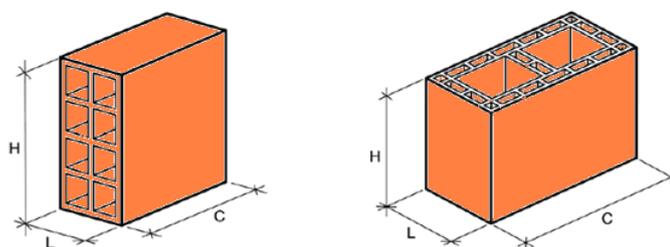
-Pesquisa em catálogos de empresas cerâmicas nacionais com o intuito de obter referências de como é realizado o processo de catalogação pelas diversas indústrias cerâmicas no Brasil e, a partir dos mesmos, propor uma codificação para os blocos obtidos;

A catalogação dimensional foi procedida de maneira manual, por medição direta com a obtenção das diversas medidas, sejam internas, dos septos e paredes do componente, ou externas, das dimensões nominais.

A anotação do local de origem das peças obtidas traz a informação da fábrica na qual o componente foi produzido, bem como a cidade ou região de onde o mesmo provém. O registro relativo ao tipo de bloco catalogado se deu por observação direta do bloco, da direção da furação, das dimensões características, da forma e disposição dos furos no componente e da espessura das paredes do mesmo, além dos dados e informações recolhidos quando da obtenção dos tijolos ou blocos.

Os componentes foram representados de maneira esquemática, sem o uso de escala, mas com um grau de mínimo de proporcionalidade em relação às dimensões das peças originais. As dimensões totais e parciais do bloco acompanham cada desenho, sendo que este mostra as medidas da face do bloco na qual estão contidos os furos. As dimensões de largura (L), altura (H) e comprimento (C) são mostradas nos desenhos dos blocos de furação horizontal e vertical conforme mostra o esquema da Figura 17.

Figura 17 - Medidas das faces de blocos de furação horizontal e vertical adotadas na catalogação dos componentes cerâmicos deste trabalho.

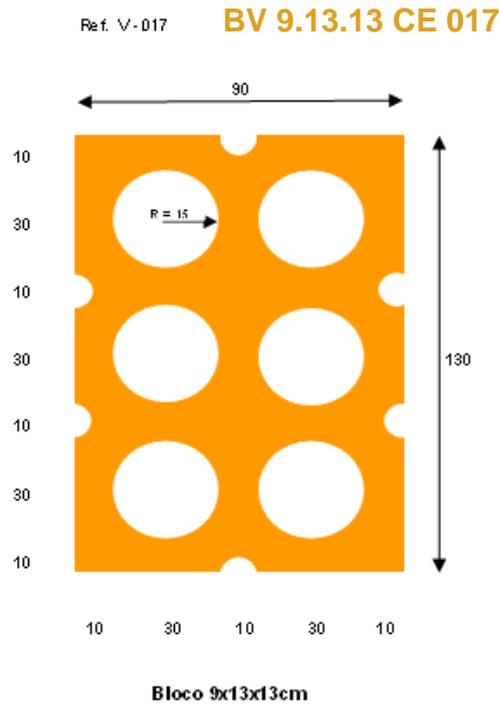


Fonte: Adaptado da norma NBR 12570.

A Figura 18 mostra um exemplo de componente cerâmico catalogado durante a pesquisa.

Figura 18 – Exemplo de componente cerâmico catalogado.

Bloco cerâmico de vedação de furação horizontal
Origem: Cerâmica El Dorado - Russas - CE



Fonte: Catalogação de Componentes Cerâmicos - Projeto MEHIS

Nas faces horizontal superior e vertical direita estão as medidas totais do componente; Nas faces horizontal inferior e vertical esquerda estão as medidas parciais. Sobre a figura do bloco situa-se a codificação alfa-numérica adotada para identificar os elementos catalogados. A Tabela 1 indica o significado dos elementos presentes na codificação do exemplo.

Tabela 1 - Significado dos elementos presentes na codificação

Tipo de Componente	Largura L (cm)	Altura H (cm)	Comprimento C (cm)	Sigla do Estado de Origem do bloco.	Código MEHIS
BV	9	13	13	CE	017

Fonte: Catalogação de Elementos Cerâmicos – Projeto MEHIS

A referência V – 017 indica a ordem de catalogação dos componentes cerâmicos e serviu para controle interno da pesquisa. Esta referência também foi gravada em cada componente catalogado.

A parte do código relativa ao tipo de componente cerâmico é dada conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Significado da parte relativa ao tipo de componente

TIPO DE BLOCO	
BV	Vedação
BE	Estrutural
BM	Maciço
CA	Calha Alta
CB	Calha Baixa
CJ	Calha Jota

Fonte: Catalogação de Elementos Cerâmicos – Projeto MEHIS

5.3 Visita a Obras

Foram realizadas visitas a obras de edifícios construídos em alvenaria cerâmica estrutural e de vedação na cidade de Fortaleza. Seguem registros de algumas destas.

Figura 19 - Obra visitada no Bairro Maraponga em Fortaleza



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

A Figura 19 mostra a obra visitada no bairro da Maraponga, em Fortaleza. Trata-se da construção de condomínio de edifícios de quatro pavimentos.

Esta obra utilizava vergas moldadas *in loco* para as portas. Nas cintas de coroamento das paredes internas e externas foram usados, respectivamente, blocos “U” e “L”. Ambos os detalhes podem ser visualizados na Figura 20. Neste tipo de sistema a recomendação é que, também para vergas e contra-vergas de aberturas de portas e janelas, sejam utilizadas peças em “U” de calha alta, pois o sistema disponibiliza esta opção. Assim não seria necessário o uso de fôrmas em madeira para a confecção destes elementos.

Figura 20 - Detalhes construtivos de vergas e blocos para cintas.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Outra obra objeto de visita foi a de construção de edifícios de nove pavimentos no Bairro Parangaba. A Figura 21 mostra as edificações ainda na fase de alvenaria.

Figura 21- Obra em Parangaba com alvenaria cerâmica estrutural.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Nesta visita foi possível fazer uma série de observações relativas aos procedimentos construtivos de marcação e elevação. Notou-se a aplicação da modulação e dos detalhamentos de paginação do projeto, com a presença de instalações elétricas embutidas na alvenaria, como mostra a Figura 22. Atualmente, mesmo em projetos de alvenaria para simples vedação, tem-se desenvolvido esforços para que as tubulações das instalações prediais também possam ser embutidas. O sistema desenvolvido pelo MEHIS também objetivou a fabricação de blocos de vedação que incorporam a característica do embutimento de tubulações.

Figura 22 - Execução da alvenaria de elevação.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Construção importante, pelo porte e volume de serviços foi a do conjunto Rosalina em Fortaleza. A Figura 23 traz imagens de trechos da obra.

Figura 23 - Obra do Conjunto Rosalina em Fortaleza.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Detalhes sobre a execução de diversos elementos construtivos interagindo com o sistema estrutural cerâmico puderam ser mais bem estudados a partir das imagens e dos dados obtidos em campo. A Figura 24 mostra alguns destes detalhes.

Figura 24 - Detalhes Construtivos de escada, laje, alvenaria de elevação e fundações de edificações em Alvenaria Estrutural – Conjunto Rosalina em Fortaleza.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Também puderam ser vistos nesta obra erros construtivos. Estes se concentravam, principalmente, na interação das esquadrias com a alvenaria, como mostra a Figura 25. As situações apontadas nas imagens abaixo são passíveis de retrabalhos, pois a dimensão vertical do forramento está inferior à do vão deixado para o assentamento do mesmo, o que contraria a lógica de coordenação modular oferecida pelo sistema em alvenaria utilizado.

A questão da conectividade entre sistemas construtivos e da intercambialidade entre elementos construtivos foi levada em conta na elaboração do sistema MEHIS, afim de que fossem evitados problemas como o apresentado na imagem seguinte.

Figura 25 - Esquadrias e alvenaria com problemas relativos à coordenação modular e intercambialidade.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Em atividade de campo na cidade de Assu-RN, foi possível a visita a uma casa térrea já construída e habitada. Nesta edificação toda a alvenaria empregada é de cerâmica estrutural, como se pode ver na Figura 26.

Figura 26 - Casa com emprego de Alvenaria Cerâmica Estrutural em Assu-RN.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Uma grande vantagem para observação foi o fato de que todas as paredes estavam em alvenaria aparente, ou seja, com a ausência do revestimento em argamassa. Assim, foi possível visualizar a conexão da alvenaria com os demais subsistemas de piso, esquadrias, laje e cobertura. As Figuras 27 e 28 trazem os detalhes dos principais itens observados.

Figura 27 - Interação entre subsistemas construtivos de residência em Alvenaria Cerâmica Estrutural. (Parede-piso e parede-esquadrias)



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Figura 28 - Interação entre subsistemas construtivos de residência em Alvenaria Cerâmica Estrutural. (Paredes-coberta e parede-laje)



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Nesta residência foi notável perceber a preocupação não somente com a modulação das paredes, mas também nas lajotas de piso e nos tijolos de forro.

Outra atividade de campo foi a da visita a obra do Projeto Maranguapinho. Nesta, as edificações foram construídas em alvenaria estrutural aparente externa e internamente. A Figura 29 mostra aspectos gerais da obra visitada. Já a Figura 30 apresenta o sistema de fundação utilizado.

Figura 29 - Obra do Projeto Maranguapinho



Fonte: Autor

Figura 30 - Sistema de fundação e cintamento utilizado.



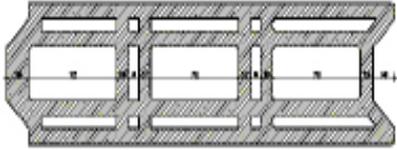
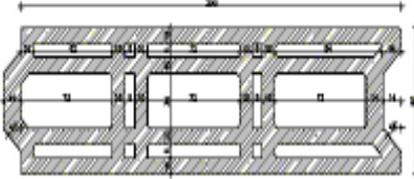
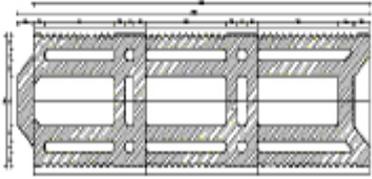
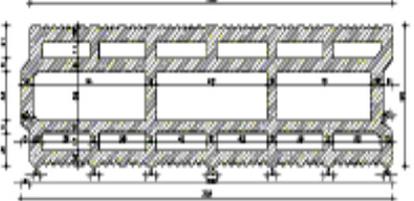
Fonte: Autor

5.4 Projeto, Produção e Ensaios nos Blocos

A partir das observações da realidade da cadeia de produção de elementos cerâmicos para a construção civil no estado do Ceará, desde o quadro geral das fábricas até a caracterização das unidades habitacionais encontradas no estado, foi efetuado o trabalho de proposição de um novo sistema que incorporou características como modulação, conectividade e intercambialidade.

Pode-se caracterizar a elaboração do trabalho de proposição do novo sistema cerâmico em três diferentes etapas. Na primeira foi definida uma geometria preliminar do elemento cerâmico. Na segunda etapa, caracterizada pela interação com um produtor de elementos cerâmicos, foram feitos os ajustes necessários para que não ocorressem erros quando da produção dos componentes. Já a última etapa foi marcada pela interação entre pesquisadores e uma empresa de metalurgia, que fabricou a boquilha a partir de recomendações técnicas de produção do elemento, tanto as acadêmicas quanto as práticas. A Tabela 2 mostra a evolução do processo de elaboração da geometria do elemento principal da família de blocos cerâmicos desenvolvida.

Tabela 2 - Registro da evolução do processo de elaboração da geometria do bloco cerâmico.

	
<p>Proposta 1 (Fev/2009). Primeira proposta, com dimensão predominante das paredes dos septos de 1 cm, exceto a região do encaixe, que possuía 1,4 cm. Identificou-se possibilidades de fissuras durante a secagem do bloco ou durante sua extrusão, devido a significativa diferença de espessura de paredes e o excesso de material acumulado nas zonas marcadas.</p>	<p>Proposta 2 (Fev/2009). Recomendação do fabricante de redução para 1cm das paredes externas e para 8mm das internas. Reforço das zonas intermediárias entre os vazados do bloco. Incompatibilidade com requisitos que facilitassem o assentamento do bloco com amarração a 1/3, o que comprometeria a compatibilidade com a coordenação modular.</p>
	
<p>Proposta 3 (Mar/2009). Ajuste da proposta do bloco à melhor possibilidade de assentamento a 1/3, adequando-se aos requisitos de coordenação modular. Essa proposta ainda apresentava diferença de espessura de paredes e o excesso de material acumulado nas zonas marcadas, podendo resultar no mesmo problema identificado na proposta 1.</p>	<p>Proposta 4 (Abr/2009). Tentativa de eliminação do problema de diferença de tamanho das paredes e diferenciação de zonas com acúmulo de massa. Tentou-se propor paredes com 1cm afim de conferir maior resistência estrutural ao bloco. A partir desse projeto foi encaminhada a fabricação da primeira boquilha para testes com o bloco.</p>
	
<p>Proposta 5 (Mai/2009). Após a fabricação da boquilha e produção dos primeiros blocos o próprio fabricante definiu ajustes diretamente na boquilha, reduzindo todas dimensões de paredes para 8mm e testando algumas possibilidades de eliminar fissuras e deformações ocasionadas no momento da extrusão e secagem. Vários blocos foram extrudados, secados e queimados, possibilitando inúmeros testes.</p>	<p>Proposta 6 (Jun-Jul/2009). Identificados os problemas elaborou-se um segundo projeto. A hipótese atual é de que a nova boquilha a ser produzida conseguirá produzir blocos sem erros. A dimensão do bloco passou à medida de 30x10cm e foi implementada a possibilidade de remoção do encaixe por fragilização da secção, possibilitando o adequado ajuste da peça à coordenação modular.</p>

Fonte: Projeto MEHIS.

Durante a definição geométrica preliminar, foram realizadas visitas a uma fábrica cerâmica situada no município de Sobral - CE, (CESMAC, pertencente ao Sr. Vitorino) já com o desenho preliminar do bloco. Iniciou-se, então, um período de trabalho e intensa troca

de informações com o fabricante, bem como a elaboração de desenhos aperfeiçoados a cada nova tomada de dados técnicos ligados diretamente à produção fabril. A partir desta colaboração foi possível a fabricação de boquilhas para teste em uma metalúrgica. A Figura 31 traz o registro da fabricação da boquilha inicial.

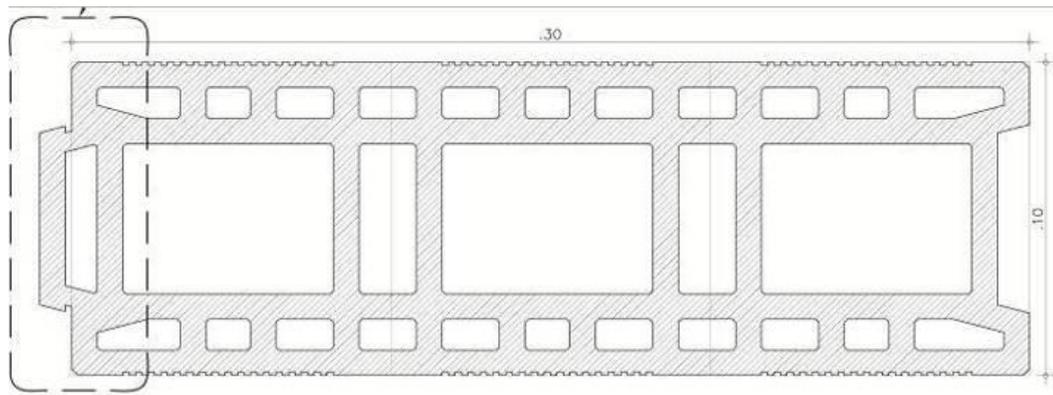
Figura 31 - Registro da confecção da proposta inicial de boquilha em metalúrgica.



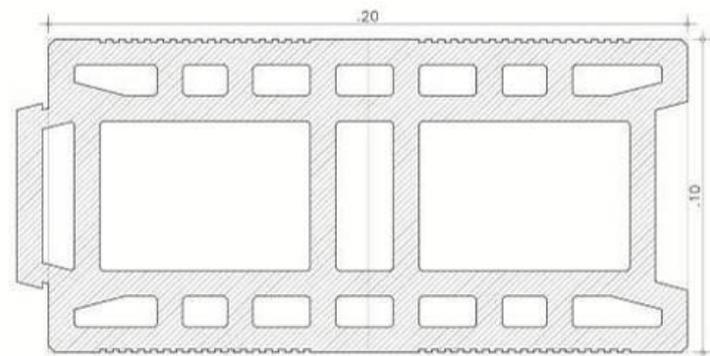
Fonte: Banco de Imagens MEHIS

Com os ajustes realizados ao longo da produção de blocos na fábrica e a produção de boquilhas aperfeiçoadas a partir dos novos critérios adotados, chegou-se a uma proposta final. O desenho definitivo da família de blocos está apresentado na Figura 32.

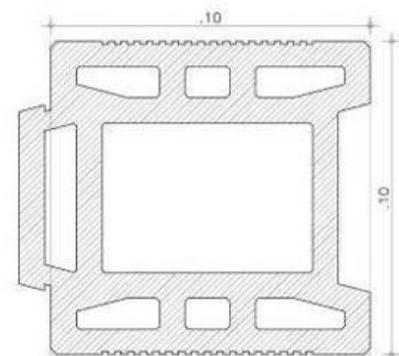
Figura 32 - Família de blocos cerâmicos desenvolvida – Versão final para a produção.



BLOCO 3M



BLOCO 2M

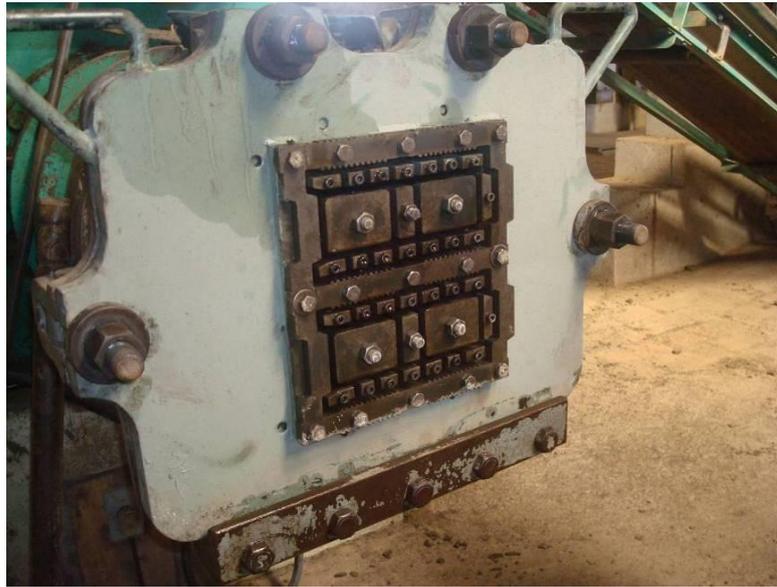


BLOCO M

Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

A Figura 33 mostra a boquilha da versão definitiva já acoplada à extrusora da fábrica cerâmica. A Figura 34, por sua vez, apresenta os blocos extrudados e cortados na dimensão definida.

Figura 33 - Boquilha definitiva acoplada à máquina extrusora.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Figura 34 - Lote inicial de blocos em processo de extrusão e corte.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

Após o processo de queima, os blocos foram transportados até Fortaleza e estocados no Campus do Pici - UFC. Foram retiradas amostras destes e realizados os seguintes ensaios no NUTEC (Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará):

-Verificação da Resistência à compressão (ABNT NBR 15270);

Esta avaliação mostrou-se satisfatória à medida que todos os blocos ensaiados apresentaram resistência que atende aos critérios da Norma ABNT NBR 15270. Os

valores obtidos encontram-se discriminados no ANEXO. Estes referem-se aos blocos cerâmicos 1M, 2M e 3M (ver Figura 32), na tabela do anexo nomeados como P, M e G, respectivamente. A Figura 35 ilustra a realização do ensaio:

Figura 35 - Ensaio de compressão em bloco cerâmico desenvolvido



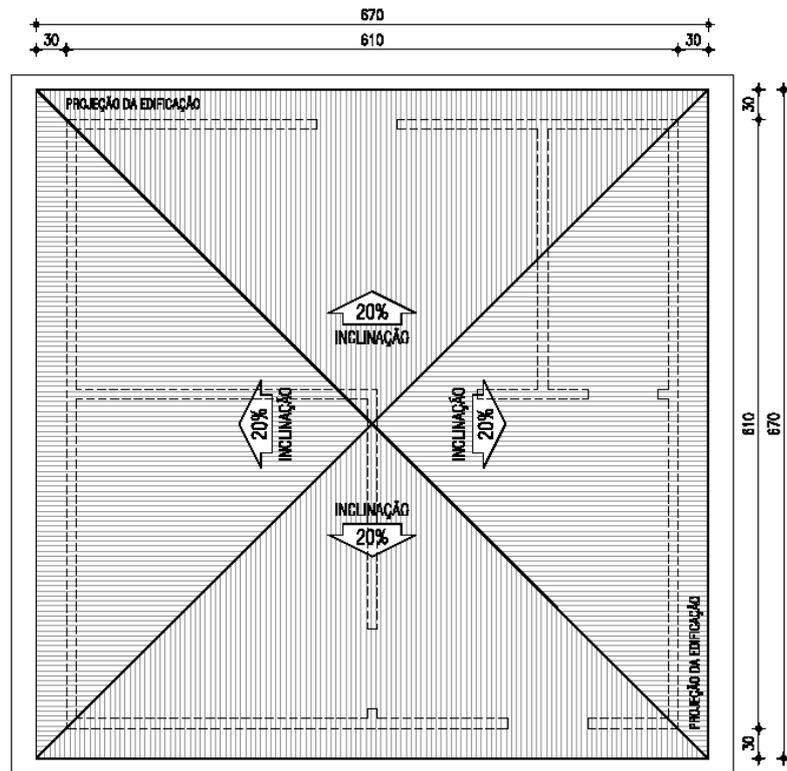
Fonte: Banco de Imagens MEHIS.

-Determinação da absorção de água em blocos cerâmicos (NBR 15270 -1);

Os valores de absorção de água são mostrados no ANEXO. Foram ensaiadas quatro amostras. A média de absorção individual obteve valor de 6,5%, o que fica abaixo da margem estabelecida pela norma NBR 15270-1 (8 a 22 %). Pode-se atribuir isso a imprecisão no controle do processo de queima dos blocos na fábrica cerâmica. Foi estabelecida pela equipe do Projeto a meta de providenciar-se a fabricação de lotes de blocos com o ajuste do maquinário de cozimento de tijolos. Desta forma será possível um melhor controle de temperatura e a consequente obtenção de elementos com índice de absorção compatíveis com os estabelecidos na norma.

-Características Geométricas (Segundo a NBR 15270-1);

Figura 37 - Planta de Coberta do Protótipo Construtivo.



Fonte: Projeto MEHIS

Figura 38 - Protótipo MEHIS executado



Fonte: Banco de Imagens MEHIS

5.5.2. Verificação do Desempenho do Protótipo Construtivo

Foram realizados os ensaios de impacto de corpo mole e estanqueidade no protótipo construído a fim de verificar seu desempenho nestes fatores de segurança e durabilidade da edificação, segundo a ABNT NBR 15575.

-Ensaio de Impacto de Corpo Mole

Os impactos de corpo mole foram aplicados por meio de um saco cilíndrico de couro preenchido com areia seca, com massa total de 40 kg, abandonando em movimento pendular a diferentes alturas descritas na Tabela 3. A Figura 39 mostra a execução do ensaio.

Os impactos foram realizados na face externa de uma parede do protótipo em sua região central. Levantando e soltando o saco de couro das alturas de 30 cm, 45 cm, 60 cm, 90 cm e 120 cm, foram obtidas as respectivas energias de impacto, em joules: 120 J, 180J, 240 J, 360 J, 480 J. A Tabela 06 apresenta os resultados obtidos, comparando-os com os requisitos e níveis de desempenho.

Foram medidos os deslocamentos horizontais instantâneos e residuais no lado da parede oposto ao impacto, para cada uma das energias aplicadas.

Figura 39 - Ensaio de Corpo Mole



Fonte: Autor

Face interna da parede

Tabela 3 - Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural.

Impacto (Joules)	Deslocamentos instantâneos dh (em mm)	Deslocamentos Residuais dhr (em mm)	OCORRÊNCIAS	LIMITES ABNT NBR 15575
120	4mm	0	Nenhuma ocorrência	dh < h/250 = 9,6 mm dhr < h/1250 = 1,92 mm
180	4mm	0	Nenhuma ocorrência	
240	5mm	1mm	Nenhuma ocorrência	
360	7mm	1mm	Nenhuma ocorrência	
480	8mm	1mm	Nenhuma ocorrência	

A partir dos valores obtidos foi possível constatar que Protótipo atende o nível de desempenho S, conforme ABNT NBR 15575.

-Ensaio de Estanqueidade

Este ensaio teve por objetivo verificar a estanqueidade à água em painéis de alvenaria para uso externo. A parede ensaiada foi revestida com o produto TESTURITE em uma das faces. Este produto é composto por uma tinta acrílica acrescida de minerais, que conferem à parede características de proteção semelhantes às do reboco, porém com uma espessura menor, que varia de 3 a 5mm. O produto acrílico traz a característica de impermeabilidade e a carga mineral confere dureza. Apesar da pequena espessura, este material foi capaz de proporcionar à parede estanqueidade, sendo que também atuou no fechamento das juntas vertical secas, características do sistema MEHIS. A Figura 40 mostra a realização do ensaio e a parede na qual foi aplicado o produto.

Figura 40 - Ensaio de Estanqueidade



Fonte: Autor

Face interna da parede

O ensaio de verificação da estanqueidade à água de paredes externas foi realizado segundo as diretrizes gerais da Norma ABNT NBR 15575 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Posicionada a câmara de ensaio, fixada firmemente contra o corpo da parede, de forma que a interface dos dois fique devidamente vedada, foi aplicada uma vazão regular de 3 dm³ de água por minuto e uma pressão 500 Pa (50mca) de ar na câmara de ensaio, mantida as condições do ensaio por 7 horas.

Foram obtidos os seguintes resultados para cada ensaio:

1º Ensaio

- Hora de início: 07h 50 min.
- Hora de paralisação do ensaio 14h 50min.

Após 4 horas a amostra não apresentou nenhum vazamento ou mancha de umidade na face interna da alvenaria

Após 7 horas a amostra não apresentou nenhum vazamento ou mancha de umidade na face interna da alvenaria.

2º Ensaio

- Hora de início: 10h 00 min.
Hora de paralisação do ensaio 17h 00min.

Resultado:

Após 4 horas a amostra não apresentou nenhum vazamento ou mancha de umidade na face interna da alvenaria;

Após 7 horas a amostra não apresentou nenhum vazamento ou mancha de umidade na face interna da alvenaria.

A norma ABNT NBR 15575 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, apresenta os níveis de desempenho para estanqueidade à água de fachada (somente paredes), mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Níveis de desempenho para estanqueidade à água de fachada (somente paredes)

Edificação	Tempo de ensaio (h)	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade da face oposta à incidência da água em relação à área total do corpo-de-prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio	Nível de desempenho
Térrea	7	10%	M
		Sem manchas	S
Com mais de 1 pavimento	7	5%	M
		Sem manchas	S

O painel de alvenaria do protótipo ensaiado atendeu o nível de desempenho S (superior), conforme ABNT 15575.

O capítulo 6 a seguir apresenta o processo de análise da construtibilidade a que se propõe o trabalho. Ao longo do texto vão sendo expostos os fatores que contribuíram para a melhoria da construtibilidade do protótipo ou aqueles que foram identificados como desfavoráveis a essa.

6 ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO QUANTO A CONSTRUTIBILIDADE

Este estudo de caso analisa o sistema construtivo desenvolvido pelo Projeto MEHIS em suas fases de projeção e execução sob o ponto de vista da construtibilidade. O estudo é, ao mesmo tempo, descritivo e analítico, e adota a subdivisão: Análise da Projeção, Análise da Execução e Melhorias pós-execução do Projeto em análise. Apesar disto, a redação das observações feitas se dá de forma integrada, com o cruzamento de características observadas entre as fases projetual e executiva do protótipo.

Como informado no Capítulo 5, o protótipo foi construído em espaço cedido pelo NUTEC. O local já possuía uma fundação tipo *radier* destinada a experimentações e testes em sistemas construtivos. O Projeto MEHIS obteve autorização para a construção neste espaço e suporte de água, energia e material auxiliar.

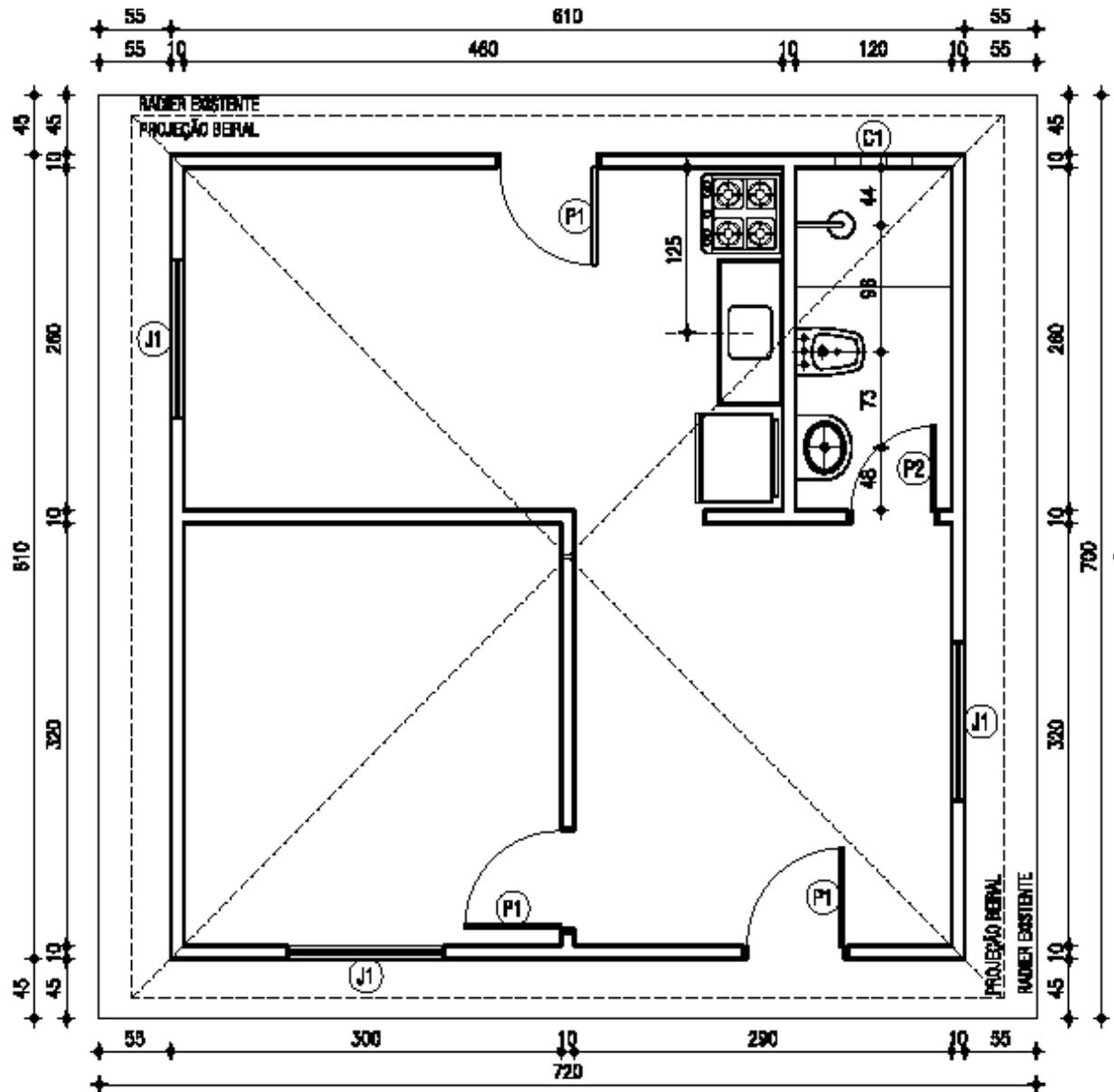
6.1 Análise da Projeção

A análise quanto ao projeto do protótipo construtivo revela uma série de características projetuais que ora colaboram, ora foram desfavoráveis à construtibilidade.

A planta baixa da Figura 41, mostra inicialmente que as dimensões dos cômodos e das alvenarias são múltiplas do módulo 10cm. Somando esta informação aos dados das figuras 42 e 43, pode-se constatar que o projeto arquitetônico está compatibilizado geometricamente a um projeto de alvenaria modulado, com indicações de paredes acompanhadas de desenhos específicos destas. Tais desenhos representam as vistas das paredes, com o posicionamento dos blocos no pano de alvenaria e a representação da 1ª e 2ª fiadas.

O projeto caracteriza-se, pois, como coordenado modularmente, com módulo 10cm. Outra característica que denota a efetiva coordenação modular é a presença de vãos modulares especificados no quadro de esquadrias (Figura 44). A pesquisa bibliográfica deste trabalho aponta a coordenação modular como fator que influencia positivamente a construtibilidade.

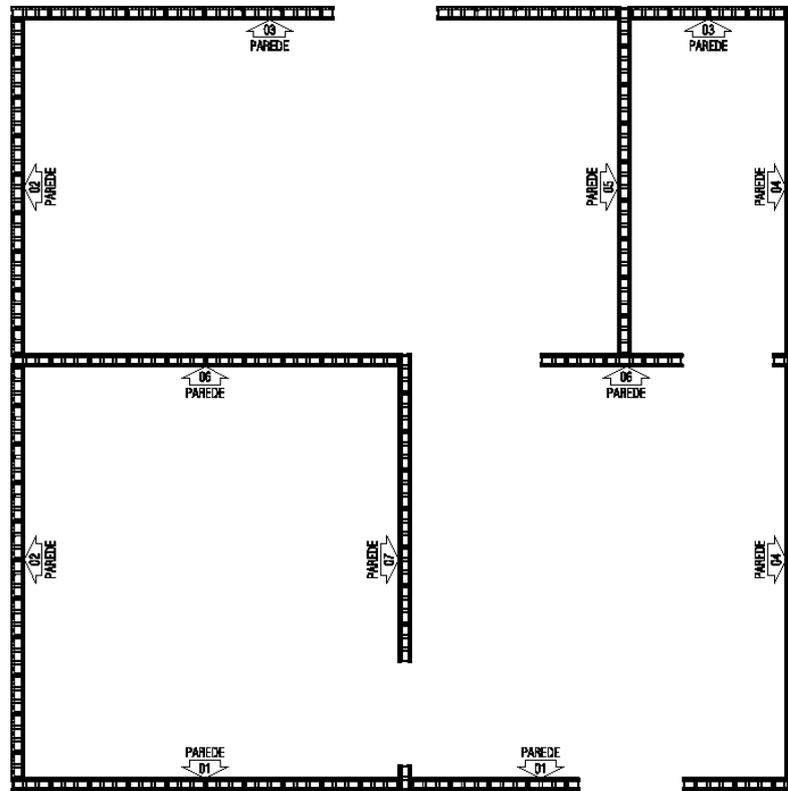
Figura 41 - Planta Baixa do Protótipo Construtivo.



Fonte: MEHIS, 2010

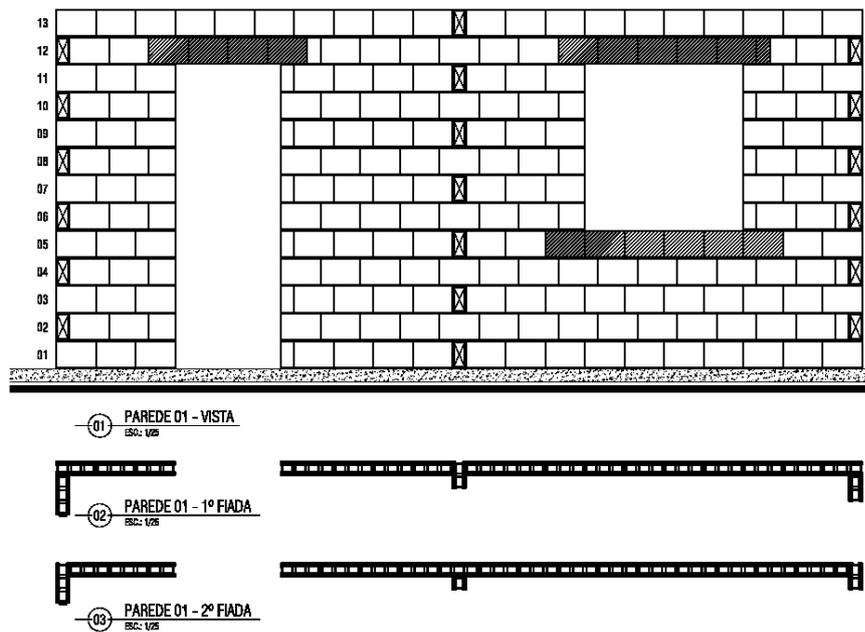
Obs: As plantas constantes neste trabalho podem ser melhor visualizadas no material disponibilizado em conjunto com a dissertação.

Figura 42 - Planta de modulação do Protótipo Construtivo.



Fonte: MEHIS, 2010

Figura 43 - Vista de um pano de alvenaria e detalhe da 1ª e 2ª fiadas.



Fonte: MEHIS, 2010

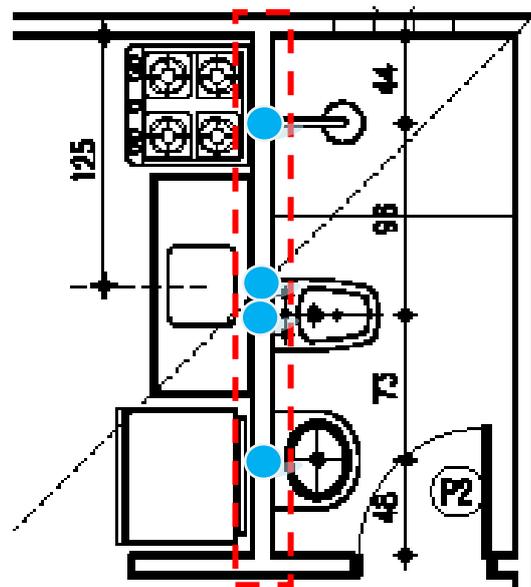
Figura 44 - Quadro de Esquadrias

QUADRO DE ESQUADRIAS			
LEGENDA	DIMENSÕES	ESPECIFICAÇÕES	QUANT.
PORTAS			
P1	0,80 x 2,20	PORTA PARANÁ	3
P2	0,70 x 2,20	PORTA PARANÁ	1
JANELAS			
J1	1,20 x 1,20	JANELA TIPO FICHA	3
OUTRAS			
C1	0,60 x 0,40	COBOGÓ CERÂMICO DIM: 20x20cm	1

Fonte: MEHIS, 2010

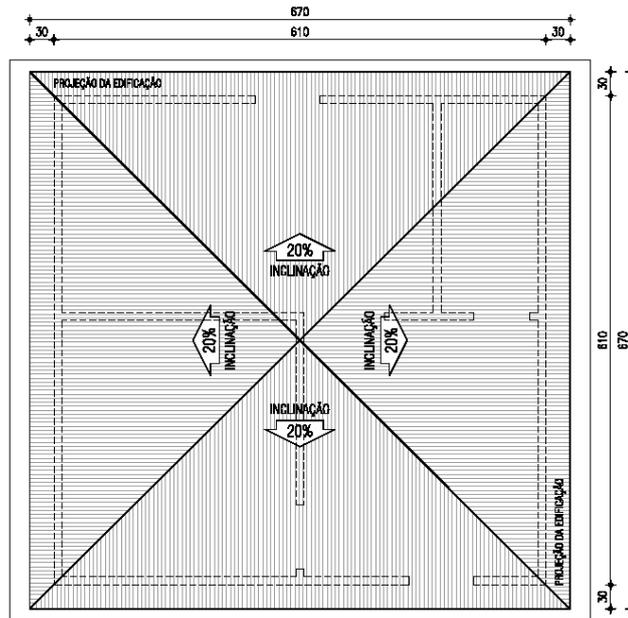
A Figura 45 mostra em detalhe um trecho particular da edificação projetada: a parede entre a cozinha e o banheiro. Nesta foram concentrados os pontos hidrossanitários para lavatório, caixa de descarga, chuveiro e pia de cozinha. Esta alvenaria configura-se, assim, como parede hidráulica, já que suporta as instalações prediais de água e esgoto em um trecho relativamente curto da construção, liberando as demais paredes para uma execução normal ou isenta de embutimentos. Em edificações de maior porte, tal parede não tem função estrutural. Este recurso de projeto é favorável à construtibilidade, já que restringe a um trecho pequeno da construção a necessidade de conectividade entre os sistemas de instalação e alvenaria, proporcionando aos demais a liberdade da execução convencional do sistema.

Figura 45 – Parede hidráulica.



Outro item a ser levado em conta nesta análise projetual é o da cobertura (Figura 46). O desenho em quatro águas deste subsistema construtivo possibilita que a edificação seja construída com um número uniforme de fiadas nos seus perímetros interno e externo, eliminando a execução de oitões ou empenas. A facilidade que se ganha na execução das alvenarias pode-se perder, entretanto, na execução da cobertura, dependendo da especificação dos materiais e dos métodos construtivos desta. No caso do protótipo MEHIS adotou-se uma cobertura em estrutura metálica, que não ofereceu dificuldade na interface de encaixe com a alvenaria. Foram previstos apenas pinos engastados na fiada de coroamento das paredes para a fixação das hastas de apoio da estrutura.

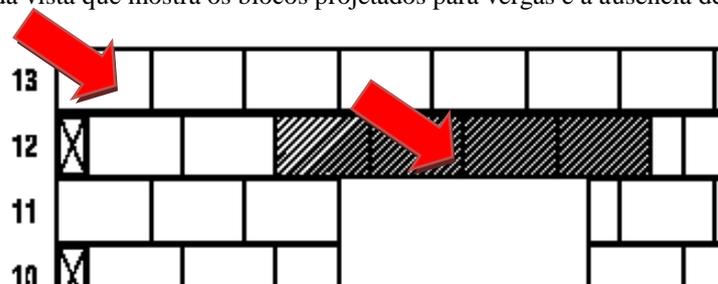
Figura 46 - Planta de cobertura.



Fonte: MEHIS, 2010

Detalhe construtivo não previsto em projeto e que afetou a construtibilidade do sistema é o da ausência de blocos específicos para a cinta de coroamento da alvenaria (Figura 47). Outro fato é o de que, apesar de projetados nos panos de alvenaria, os blocos especificados para atuar nas vergas e contravergas das paredes não foram fabricados, o que acarreta uma incompatibilidade entre projeto e execução. Situações projetuais como estas fatalmente geraram improvisos durante a execução, como poderá ser constatado no subitem 6.2.

Figura 47 - Detalhe da vista que mostra os blocos projetados para vergas e a ausência de blocos de coroamento.



Fonte: Adaptação do autor

6.2 Análise da Execução

A execução do protótipo construtivo foi antecedida por uma fase de preparação que incluiu a aquisição de insumos, seleção e contratação da mão de obra, escolha e adequação do local de construção, disponibilização de equipamentos, ferramentas e EPIs.

O planejamento da execução foi feito de maneira informal, apenas com a projeção de tempo de duração da execução (duas semanas ou 10 dias úteis) e a previsão de serviços a serem realizados a cada dia, conforme uma precedência de atividades pré-estabelecida. As tarefas foram previstas para execução por equipe composta de um pedreiro e um servente.

A Figura 48 mostra um cronograma simplificado das etapas de execução do protótipo. Nota-se a predominância da fase de elevação da alvenaria, que contém em si sub-atividades em paralelo, como é o caso do embutimento de eletrodutos e da concretagem da cinta de coroamento. A elevação é precedida pela marcação e a obra concluída com o assentamento da estrutura da coberta. Serviços como revestimentos, instalações hidrossanitárias e pinturas não foram previstos para a construção devido a limitações orçamentárias do projeto de pesquisa.

Figura 48 - Cronograma simplificado de Execução do Protótipo.



Fonte: Autor.

Na execução foram disponibilizados recursos diversos que englobavam itens como a fundação em *radier* já executada, tijolos, agregados, aglomerante, betoneira, pontos de água e energia elétrica, além de materiais como tábuas, eletrodutos e barras de aço.

Ferramentas e equipamentos a exemplo de um carro de mão, colher de pedreiro, máquina de corte a disco, prumo, mangueira de nível, trenas e caixas para argamassa compunham os insumos complementares da construção.

Uma central de corte para os blocos e uma local para a produção de argamassa foram estabelecidos a fim de alimentar as fases de marcação e elevação. Um núcleo de conferência de projetual com trenas, escalímetro e um jogo de projetos protegido por plástico transparente também foi montado a fim de dar suporte técnico às operações da obra.

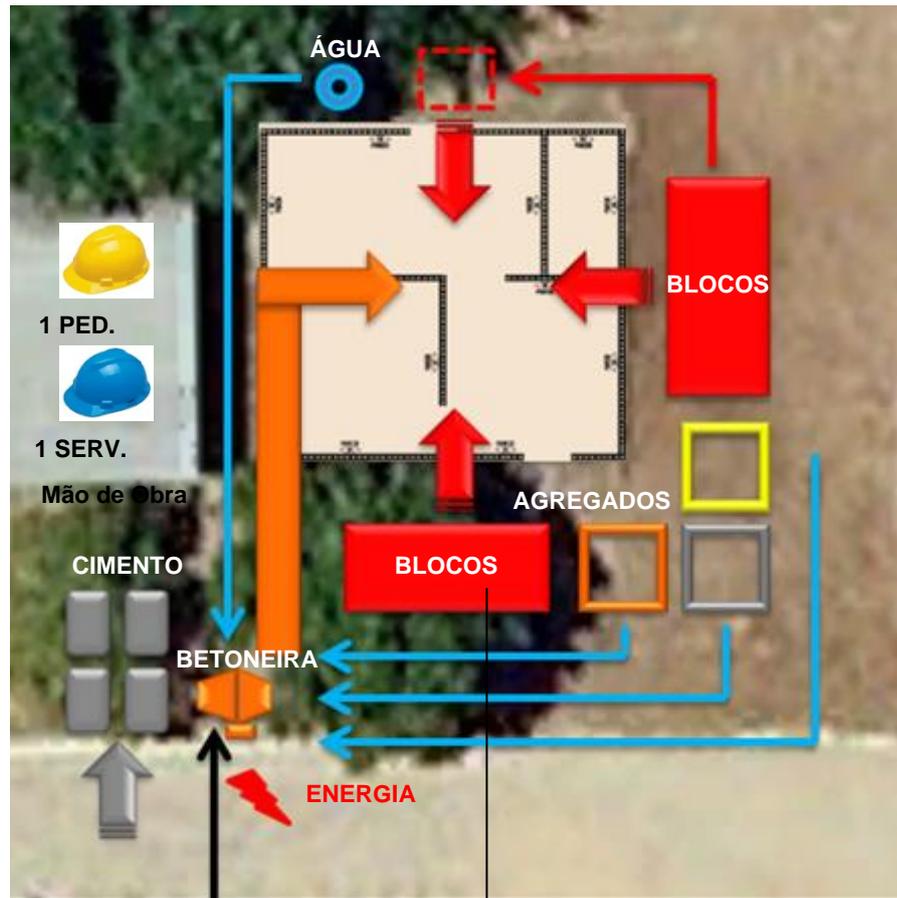
Apesar da disponibilização de recursos ter sido eficiente, com o suprimento dos diversos materiais compatível com as exigências da construção, o posicionamento destes no canteiro não foi realizado com um planejamento prévio. Isto acarretou um *layout* de canteiro sem um estudo para o fluxo racionalizado dos materiais. As atividades de transporte, então, apresentaram trajetos que poderiam ser racionalizados, com ganho substancial de tempo para as operações da obra. A construtibilidade foi, desta forma, prejudicada pela ausência de um projeto efetivo para o canteiro.

A Figura 49 ilustra o *layout* a partir de vista aérea. Os recursos empregados na construção e a movimentação destes na obra podem ser analisados a partir do seu posicionamento. As pilhas de blocos, por exemplo, foram armazenadas sem distinção de tipo de componente (ver Detalhe 1). Isto ocasionou um aumento de tempo para a disponibilização do material necessário ao pedreiro, interferindo em sua produtividade. Dispor ou não o material junto ao operário na quantidade e tipo corretos influencia a construtibilidade e, por consequência, a produtividade da obra.

A Figura 50 traz uma proposta de racionalização para o canteiro, com um estudo alternativo da disposição dos materiais. Apresenta-se um novo posicionamento para os agregados e para o cimento, de modo a se compor uma central de argamassa. Esta medida reduziria drasticamente o trajeto dos agregados até a betoneira.

Tomando mais uma vez o exemplo dos blocos cerâmicos, na nova configuração de *layout*, estes componentes são separados por tipo (ver Detalhe 2) e, quando transportados para o interior da construção, colocados em minipalets, que dispõem os blocos necessários para cada pano de parede para imediata aplicação (ver Detalhe 3). Esta estratégia facilita a execução das alvenarias, à medida que os blocos específicos para cada pano estarão mais acessíveis e, por conseguinte, contribuirão na agilização da operação de elevação.

Figura 49 - Layout do Canteiro.

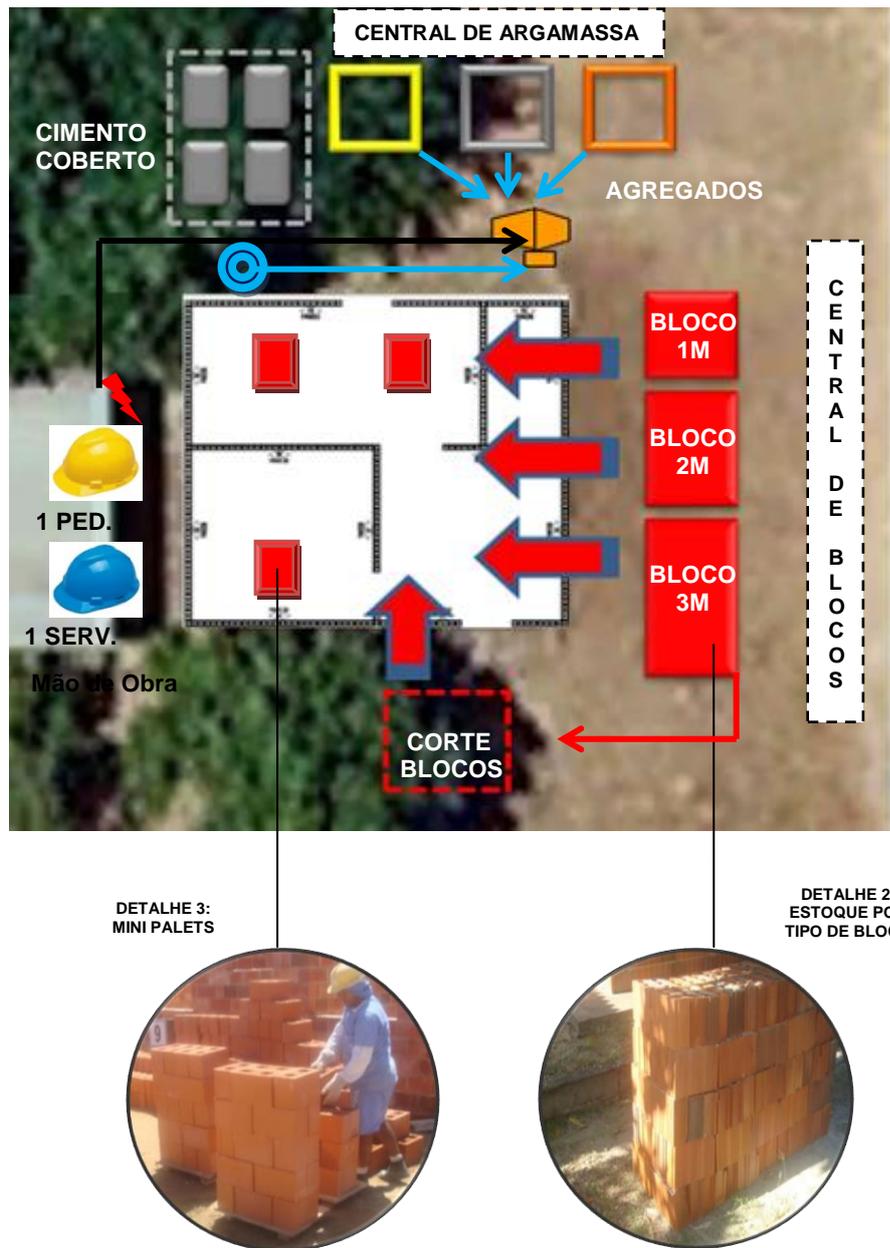


DETALHE 1:
BLOCOS VARIADOS
ESTOCADOS JUNTOS



Fonte: Autor

Figura 50- Layout do Canteiro Proposto.



Fonte: Autor

A Figura 51 destaca o processo de marcação da alvenaria. Nota-se a fundação em *radier* e a distribuição das paredes do protótipo. O fato do sistema de fundação ser neste sistema possibilitou melhor movimentação interna dos operários, o que facilitou o processo executivo.

Figura 51 - Fundação em Radier e etapa de marcação.



Fonte: autor

A Figura 52 traz a banqueta que serviu de núcleo de conferência dimensional. Nela estão disponibilizadas todas as plantas necessárias à execução (fiadas, vistas, tabelas com dimensões dos vãos, etc), bem como instrumentos de medição como escalímetro e trenas de aço e de fibra.

Figura 52 - Núcleo de conferência dimensional.



Fonte: Autor

Na construção do protótipo observou-se que o rigor dimensional, simbolizado pela presença de um núcleo com todas as informações sobre as medidas modulares do projeto, também foi transposto para a execução. As Figura 53 e 54 apresentam alguns dos momentos da conferência do nível, prumo e esquadro a que foi submetida a construção do protótipo.

O efetivo fluxo de informações do projeto para a execução e da execução para novas obras é a base da construtibilidade. Garantir que as medidas do projeto sejam aplicadas realmente na execução por meio de sistemática que utilize as ferramentas apropriadas é fundamental quando se cogita ter uma construção que goze de boa construtibilidade. É o que também atesta Roman *et al.* no trecho abaixo.

A construtibilidade é permitida quando há uma maior comunicação entre projeto/obra; desenvolvimento de sequências construtivas; padronização dos materiais; acessibilidade aos locais de trabalho; liberação das montagens em qualquer sequência executiva; eliminação de embutimentos e sobreposições de elementos construtivos; respeito a nível, prumo e esquadro; uso de materiais convencionais; o uso de materiais locais, requerendo mão-de-obra facilmente encontrada; são paradigmas ou requisitos desta teoria (Roman et al., 2000).

Figura 53 -Conferência de Prumo e Nível.



Fonte: Autor

Figura 54- Conferência de Esquadro.



Fonte: Autor

Um aspecto observado na elevação da alvenaria foi o do uso de colher de pedreiro para compor os cordões de argamassa sobre os quais seriam assentadas as fiadas (Figura 55). Esta ferramenta não possui a precisão adequada para realizar tal serviço, sendo que os cordões resultaram muito espessos, gerando desperdício de material. Instrumentos como a canaleta, a bisnaga ou a régua para argamassa são mais práticos e fazem com que a argamassa seja distribuída na quantidade correta (Detalhe 4). A imagem também mostra o esforço do operário para recolher o material na masseira.

Há no mercado carrinhos com altura regulável para servirem de suporte às caixas de massa, evitando esforço excessivo do operário. Para o assentamento das fiadas superiores existem plataformas metálicas que servem de suporte para o pedreiro. Há ainda gabaritos e cantoneiras metálicas, que servem de guia para a execução dos vãos (Detalhe 5). Aprumados e alinhados previamente, estes acessórios também se constituem em fator de simplificação do serviço, à medida que evitam constantes reconferências da alvenaria.

A utilização de ferramentas e equipamentos adequados para cada atividade é fator que pode contribuir para o aumento do nível de construtibilidade, pois tem o potencial de tornar mais fácil o desenvolvimento de algumas atividades pelos operários. O projeto para produção deve prever a utilização de ferramentas e equipamentos que facilitem ou simplifiquem a construção.

Figura 55- Processo de Elevação da Alvenaria.



DETALHE 4: RÉGUA
PARA APLICAÇÃO
DE ARGAMASSA



DETALHE 5:
BANQUETAS,
CARRINHOS PARA
ARGAMASSA E
GABARITOS



Fonte: Autor

A Figura 56 traz características importantes do componente cerâmico principal do sistema em estudo (Bloco 3M). Por apresentar massa (4,5kg) e espessura (10cm), reduzidas em relação aos blocos da alvenaria estrutural, o manuseio deste componente é facilitado. A prática da obra mostrou que o operário é capaz de movimentar o bloco 3M com uma só mão normalmente. Isto se dá pelo fato deste componente ter medida compatível com a garra da

mão humana e um peso que esta pode elevar. Este exemplo faz perceber que também as características do material empregado na construção podem influenciar a construtibilidade. Se estes forem previamente concebidos e projetados em sintonia com o projeto para produção, poderá haver benefícios significativos para o grau de construtibilidade da obra.

Figura 56 – Influência do peso e da geometria do bloco na elevação da alvenaria.



Fonte: Autor

Outras situações de interferência do material na construtibilidade podem ainda ser extraídas da construção do protótipo. A Figura 57 aponta dois detalhes em componentes cerâmicos da alvenaria do sistema analisado.

Na seta do lado direito observa-se que o encaixe do tijolo na fiada está sendo dificultado por não haver espaço suficiente para o mesmo. Na execução do protótipo isto constitui-se em um problema com frequente necessidade de ajuste e retrabalho, até que fosse possível o encaixe do componente na alvenaria, como mostra a Figura 58. Isto se deu devido à necessidade de maior precisão dimensional dos blocos. Tal situação acabou por ser uma influência negativa para a construtibilidade. Isto indica que um projeto de produção também deve prever o controle dimensional para a aceitação dos blocos entregues na obra.

Na seta do lado esquerdo observa-se um bloco seccionado em sua extremidade de encaixe. Esta situação já estava prevista em projeto. O que, porém, trouxe uma dificuldade extra para este procedimento, foi o fato do seccionamento não ter sido possível por simples impacto, como se havia previsto. O sulco contido nas parede dos septos não foi suficiente para fragilizar o encaixe macho das peças, sendo que estas tiveram que ser cortadas com o auxílio de serra de corte com disco diamantado, como mostram as Figuras 59 e 60.

Figura 57 – Problemas no encaixe de componentes na alvenaria.



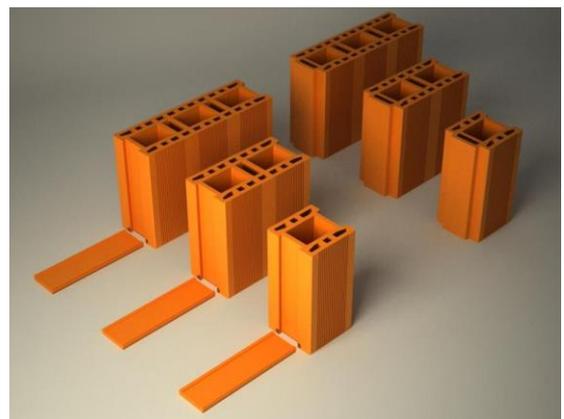
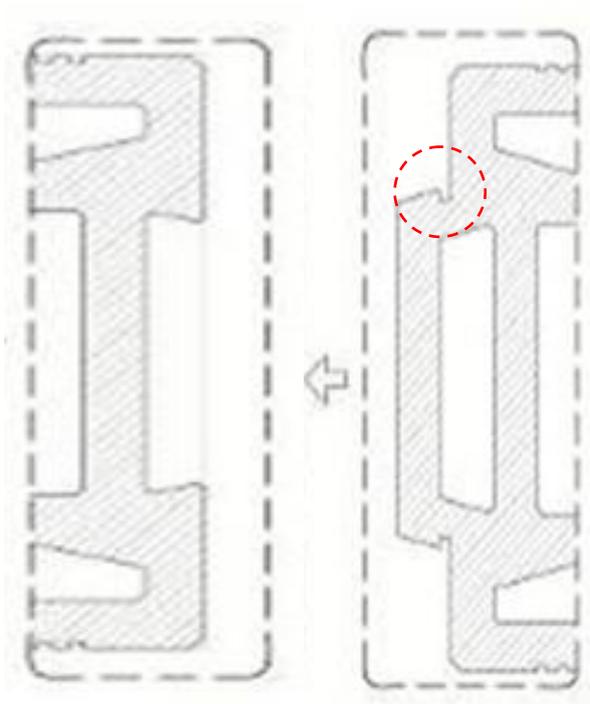
Fonte: autor

Figura 58 – Ajuste para o assentamento do bloco.



Fonte: Autor

Figura 59 - Detalhe do encaixe entre blocos e sulco considerado insuficiente para seccionamento previsto. Na ilustração do lado direito tem-se os blocos com a concepção original de seccionamento do encaixe macho.



Fonte: MEHIS , 2010.

Figura 60 - Seccionamento com o auxílio de máquina de corte.

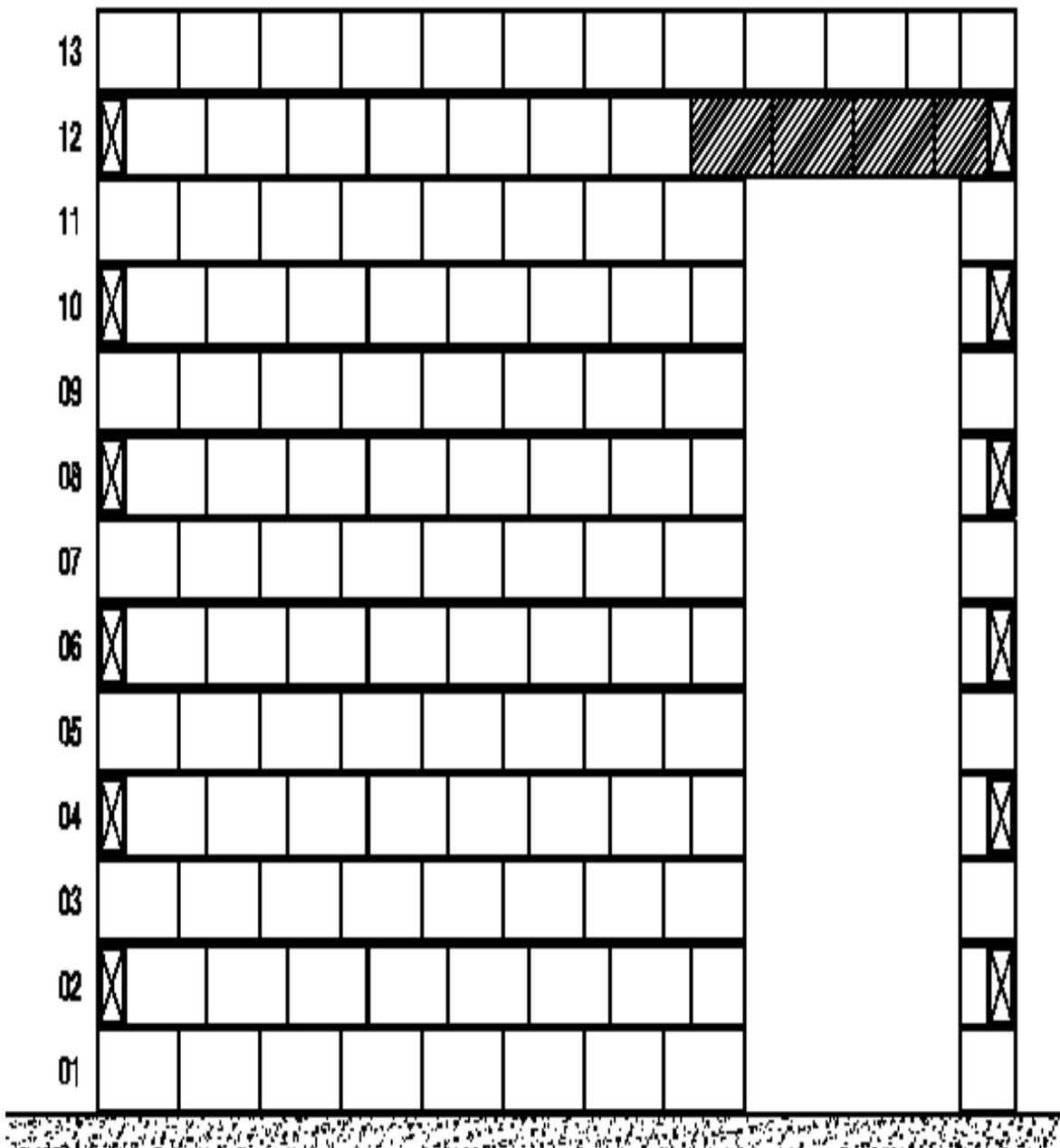


Fonte: Autor

A Figura 61 mostra vista de uma das paredes do protótipo. Como comentado no item 6.1, houve deficiências projetuais na solução para vergas, contravergas e cinta de coroamento da alvenaria. O projeto das vistas aponta para blocos calha nas vergas de portas, porém não foi produzido o componente específico para esta necessidade. A consequência foi a adoção de solução improvisada na própria execução, como apresentam as imagens da Figura 62. Nestas pode-se visualizar que blocos 3M foram adaptados por meio de corte para substituírem os blocos calha. Esta prática gerou novos improvisos, como a criação de suportes em madeira para as vergas dos vãos de esquadrias e desperdício de material no lançamento do concreto das cintas de coroamento.

O quadro de indefinição na fase de projeção, com um corte no fluxo de informação entre projeto e execução prejudicou consideravelmente a construtibilidade do sistema. Uma construção de elevado grau de construtibilidade deve prever em projeto, a partir da experiência dos profissionais envolvidos, o máximo de detalhamento, a fim de não permitir que soluções de improviso sejam realizadas em canteiro.

Figura 61 - Vista de parede do protótipo.



Fonte: Banco de Imagens MEHIS

Figura 62 - Detalhes dos artifícios adotados para a execução de vergas, contravergas e cintas de coroamento.



Fonte : Autor

Para a construção do protótipo não foram projetadas as instalações elétricas. Apesar disto, decidiu-se realizar o assentamento de caixas e tubos elétricos nas paredes para verificar a característica do embutimento de tubulações. A ausência de projeto teve por consequência falhas elementares na execução. As caixas elétricas foram fixadas nos blocos e assentadas na alvenaria, sem, porém, ter-se realizado a atividade paralela da colocação dos eletrodutos logo em seguida. Isto gerou um trabalho extra de colocação posterior dos tubos, com o agravante da furação vertical dos tijolos estar parcialmente preenchida por argamassa. Neste caso, a falha no processo construtivo do sistema foi dupla, à medida que ocorreu por falta de projeto e por falha na sequência de execução. As Figuras 63 e 64 mostram as paredes antes e depois de instalados os eletrodutos.

Figura 63 - Caixas assentadas sem eletrodutos.



Fonte: Autor

Figura 64 – Eletrodutos instalados posteriormente.



Fonte: Autor.

No tocante à etapa de elevação da alvenaria, a recomendação usual é a de que o assentamento dos blocos deve ser realizado de maneira que as juntas verticais fiquem desencontradas de pelo menos um terço do comprimento do bloco. As juntas devem ter, ainda, espessura de cerca de 1 cm, executadas com argamassa de modo a preencher inteiramente a borda do espaço entre os tijolos. O sistema em análise foi projetado com contrafiado de amarração a um terço e juntas de 1cm apenas na horizontal. Neste aspecto a execução seguiu rigorosamente as referências projetuais (Figuras 65 e 66), o que proporcionou à elevação da alvenaria, apesar das deficiências apontadas anteriormente, boa precisão e qualidade. Quanto à adoção de juntas argamassadas ou não na vertical, à parte de toda a discussão sobre o tema, Serra e Sousa(2000) escreve:

A opção pelo preenchimento ou não das juntas verticais tem sido alvo de alguma polêmica nos meios técnicos ao longo dos últimos anos. Em defesa do não preenchimento são usados argumentos relativos a economia e à má qualidade natural das juntas verticais, devido à dificuldade de execução. Ninguém defende, todavia, que em paredes sujeitas a solicitações horizontais, paredes mal confinadas e paredes com cargas excêntricas aplicadas as juntas verticais sejam secas.

Figura 65- Aspecto de um pano e alvenaria. Pode-se visualizar a amarração a um terço e a ausência de argamassa nas juntas verticais.



Figura 66 - Detalhe de regularização da junta com boleamento.



Fonte: MEHIS, 2010

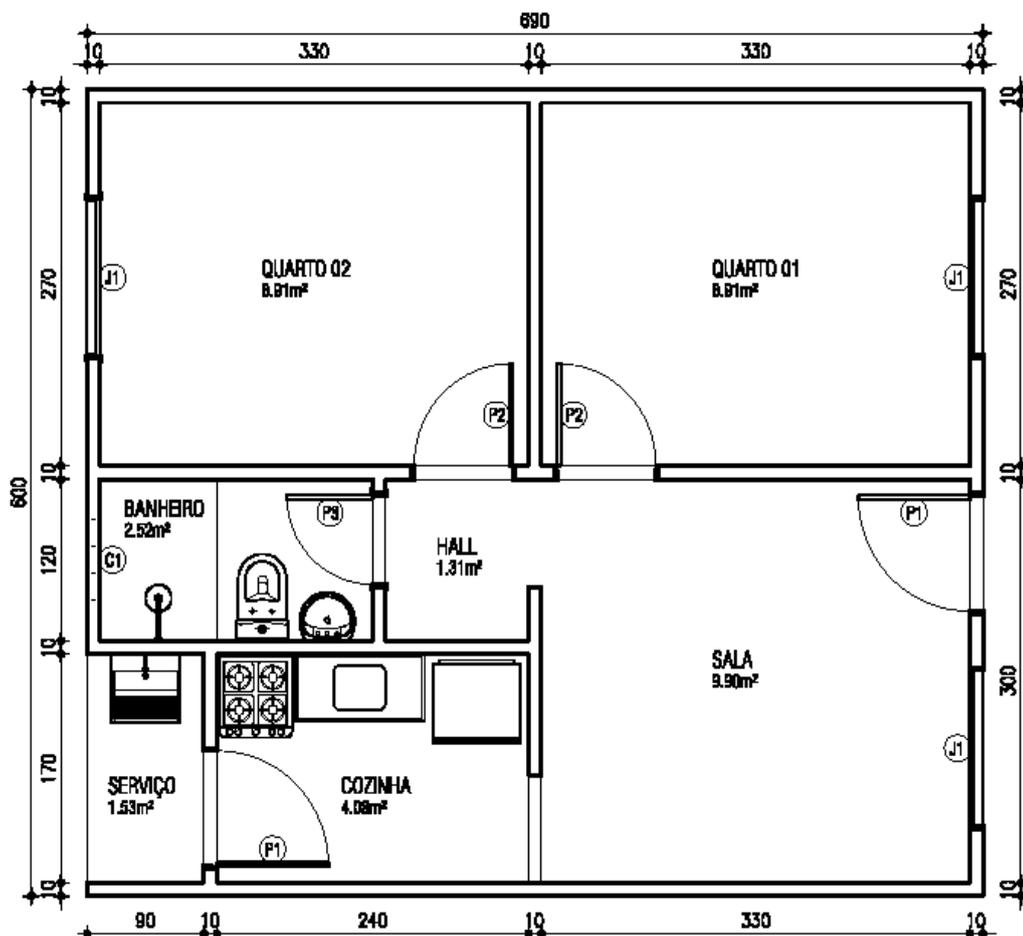
6.3 Melhorias pós-execução do sistema analisado

Após a execução do protótipo e a partir das observações dos aspectos de construtibilidade, o projeto MEHIS propôs, por meio da elaboração de projeto arquitetônico, o aperfeiçoamento da fase de projeção do sistema. A elaboração do novo projeto procurou sanar as deficiências apresentadas no primeiro, com a inserção de novos elementos projetuais, tabelas, matrizes de quantificação, ampliação do nível de detalhamento e da aplicação da coordenação modular.

O resultado encontra-se descrito nas imagens abaixo e é consequência da retroalimentação proporcionada pelo fluxo de informações contínuo projeto-execução-projeto, a que devem ser submetidas as construções cujos construtores almejem ampliar a construtibilidade.

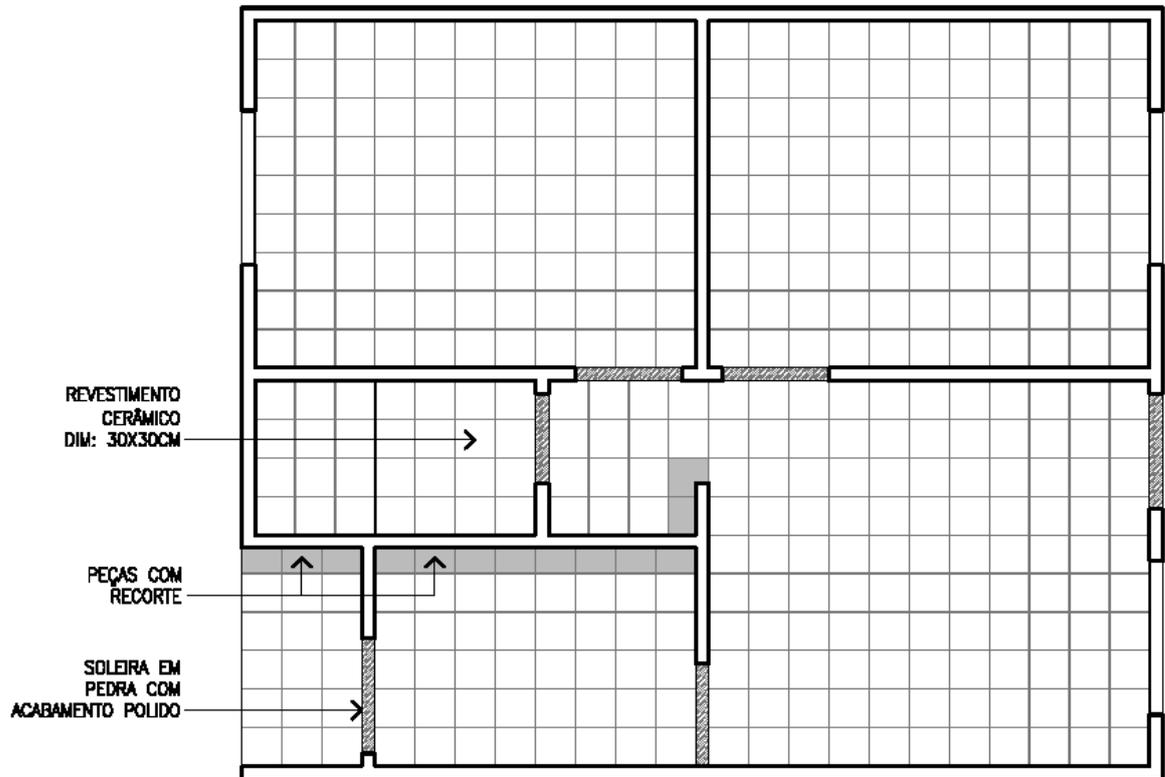
A Figura 67 mostra a nova proposta, que obedece a coordenação modular nas dimensões horizontal, vertical e vãos de porta e janelas. A coordenação modular é ampliada para o revestimento cerâmico (Figura 68), que também traz uma paginação racionalizada com base no módulo 10cm. Nota-se neste projeto a preocupação com minimização dos cortes. A parede hidráulica é similar à do projeto inicial, porém com a ampliação de um ponto para o tanque da área de serviço. (Figura 69).

Figura 67 - Nova proposta de projeto para a o sistema



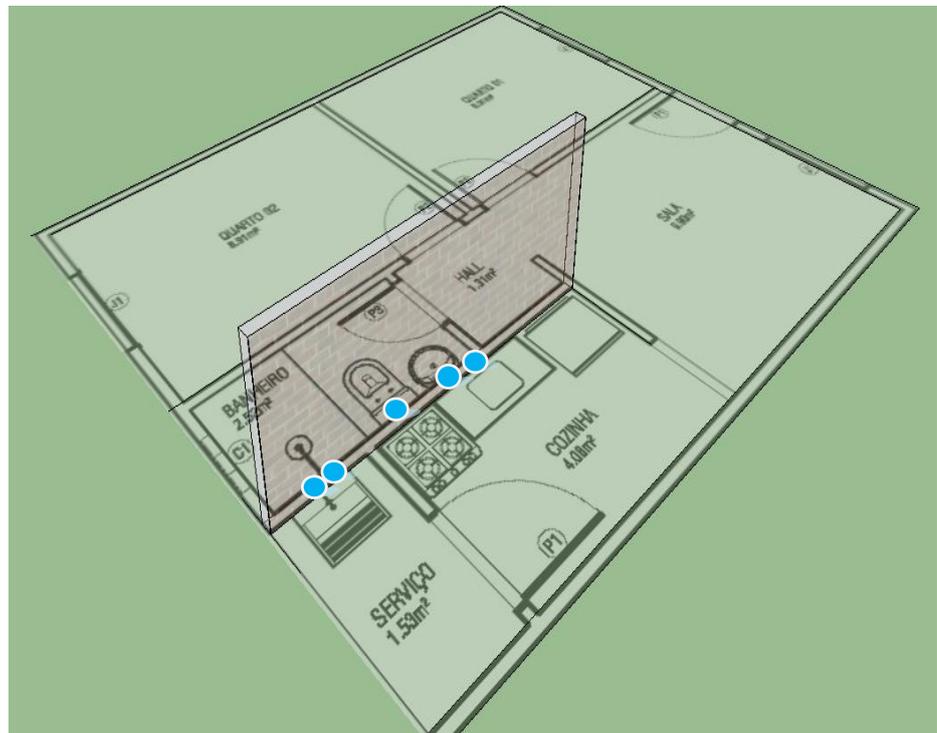
Fonte: MEHIS, 2010

Figura 68 - Modulação no piso cerâmico para minimização dos cortes



Fonte: MEHIS, 2010

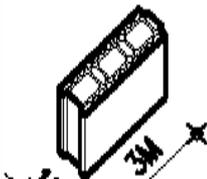
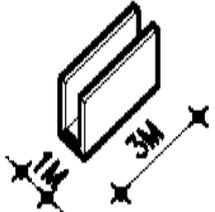
Figura 69 - Projeção da parede hidráulica e pontos hidráulicos



Fonte: MEHIS, 2010

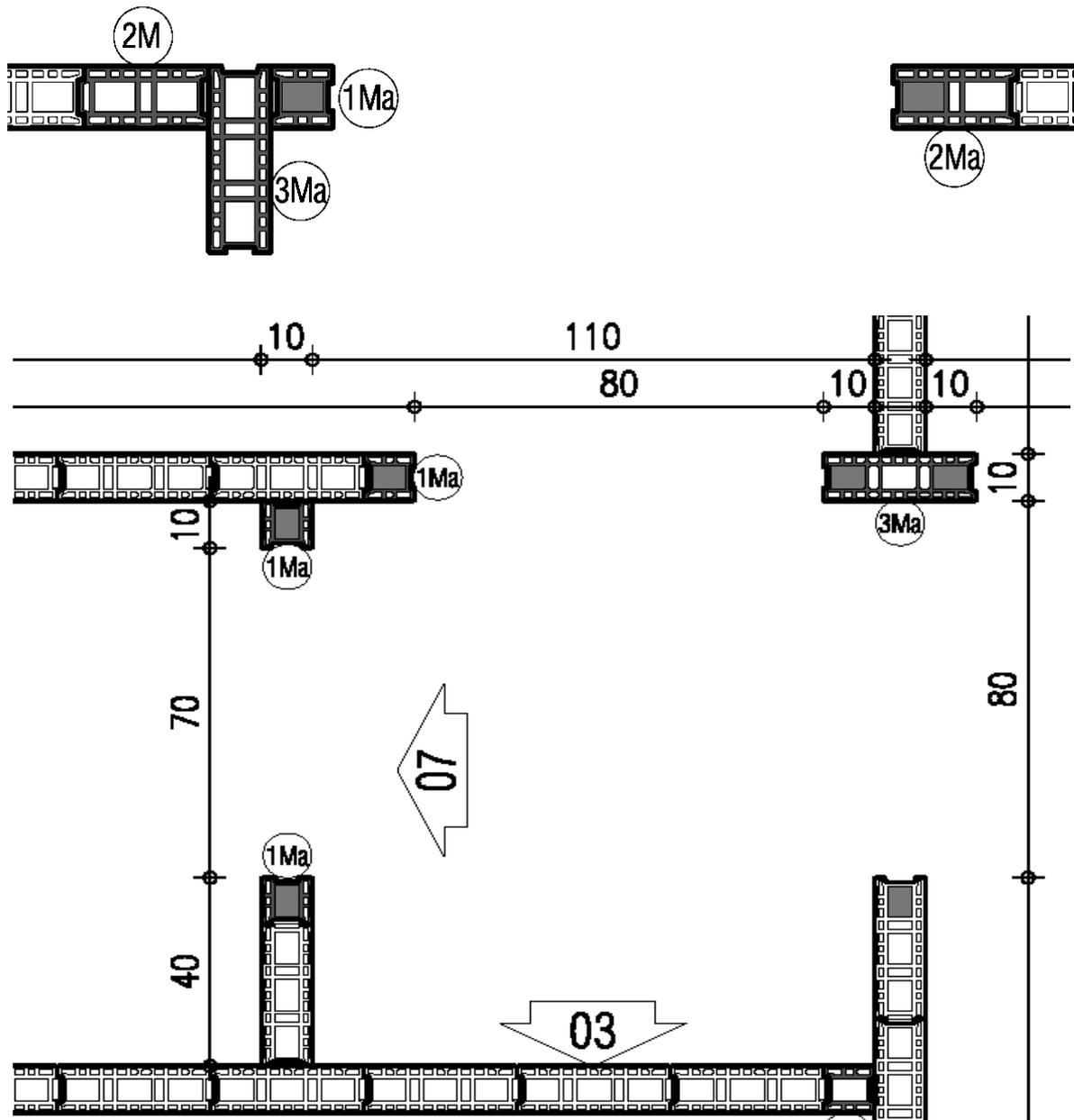
A Figura 70 mostra legenda de quantificação de componentes, com as quantidades especificadas para cada tipo de bloco e a especificação de novos elementos, como os blocos calha 2M e 3M, bem como variantes com encaixe seccionado dos blocos 1M, 2M e 3M. A Figura 71 apresenta trecho da planta de fiadas com estes blocos especificados em seu local próprio de assentamento.

Figura 70 - Legenda de detalhe e quantificação de componentes

FAMÍLIA DE BLOCOS			CALHAS	
B-1M	B-2M	B-3M	C-2M	C-3M
  1Ma 	  2Ma 	  3Ma 		
93 unidades	110 unidades	1266 unidades	12 unidades	182 unidades
OBS.: H=19cm, M=10cm				

Fonte: MEHIS, 2010

Figura 71 - Plantas de fiada com maior detalhamento. 1Ma, 2Ma e 3Ma são, respectivamente, os blocos 1M, 2M e 3M seccionados.



Fonte: MEHIS, 2010.

O novo projeto também traz uma matriz de quantificação que cruza cada parede com a quantidade de blocos necessária a cada pano de alvenaria (Figura 72).

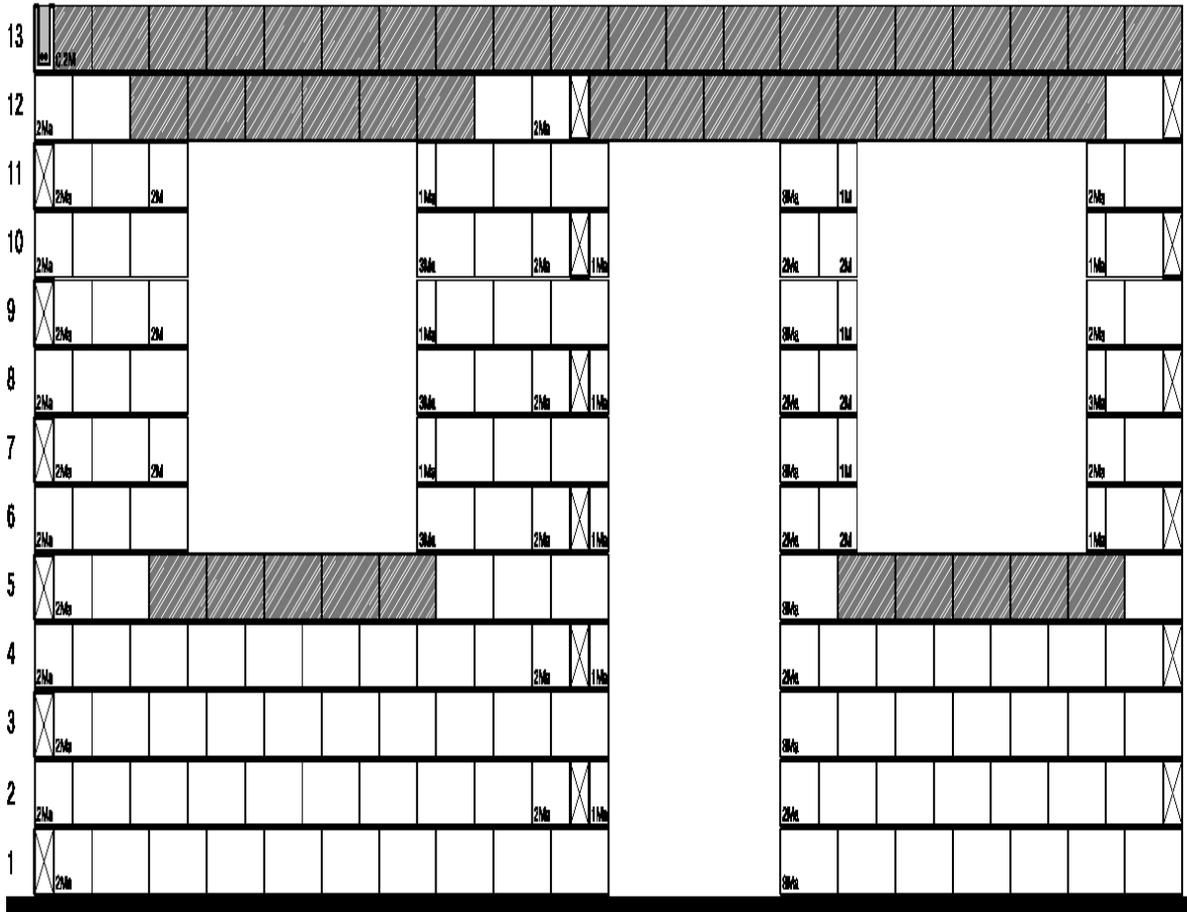
Figura 72 – Matriz de quantificação Tipo de Bloco x Parede

PAREDE	B-1M	B-2M	B-3M	C-2M	C-3M
01	-	-	270	-	23
02	26	12	191	06	25
03	18	-	126	-	11
04	-	12	282	01	22
05	14	32	102	01	44
06	06	12	156	01	13
07	12	10	12	01	07
08	13	10	24	01	09
09	4	22	103	01	28

Fonte: MEHIS, 2010

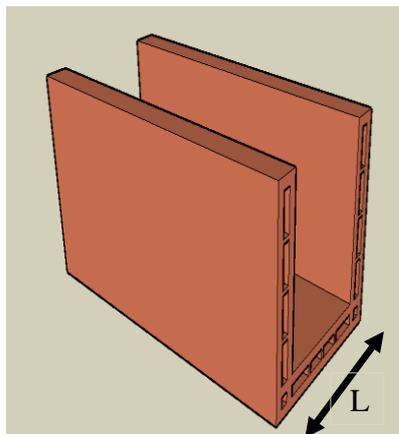
A Figura 73, por sua vez, apresenta a vista de uma das paredes do novo projeto. Nota-se a ampliação de detalhes, com a inserção no desenho dos blocos para vergas e contravergas, cinta de coroamento e a indicação do tipo de bloco também na vertical. A Figura 74 ilustra o bloco calha com largura 10cm, apropriado para a aplicação no sistema e que deve ser produzido a fim de melhorar a construtibilidade numa nova execução.

Figura 73 – Vista de parede com melhor detalhamento



Fonte: MEHIS, 2010

Figura 74 - Proposta de bloco calha L= 10cm para vergas, contra-vergas e cintas de coroamento.



Fonte: Autor

Certamente o acréscimo no detalhamento e nas especificações projetuais não abarcam todas as ações necessárias para elevar ao máximo o grau de construtibilidade do protótipo, mas elas já se constituem num avanço em relação ao primeiro projeto do protótipo.

O projeto arquitetônico casado a projetos de instalações prediais compatibilizados e a projeto para produção, subsidiado por *layout* do canteiro racionalizado terão como consequência a ampliação da construtibilidade do sistema analisado.

7 CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho é possível tecer uma série de considerações sobre os estudos realizados.

A busca pela melhoria da construtibilidade dos sistemas construtivos passa pela análise aprofundada de suas fases projetual e construtiva. À medida que se avança nesta e se gera um fluxo contínuo de informação para a retroalimentação mútua de projeção e construção, consegue-se melhorar a obra, dotando-a de racionalidade e melhor produtividade.

A construtibilidade pode ser alimentada com informações dos profissionais atuantes no planejamento, no projeto, na gerência de execução, na fase operacional e até por profissionais externos, como é o caso dos consultores e dos técnicos de empresas fornecedoras de materiais e serviços.

A análise da construtibilidade do protótipo construtivo do Projeto MEHIS gerou informações que podem colaborar no estudo desta temática. Na construção puderam ser vistas situações contrárias e favoráveis à construtibilidade, de modo que, com a identificação destas, foram sendo propostas ações de melhoria, desde a organização do canteiro até o estudo dos elementos de uma nova proposição de projeto arquitetônico.

As informações aqui apresentadas de forma alguma esgotam as possibilidades de se apontar caminhos para um melhor grau de construtibilidade, mas podem colaborar para a melhoria da construção habitações de interesse social, com a produção de moradias melhores, mais econômicas e, sobretudo, mais dignas para a população.

O sistema em alvenaria cerâmica analisado reúne condições iniciais para ajudar no atendimento desta demanda por HIS, porém, se não houver esforço para a elevação de seu nível de sua construtibilidade, todas as vantagens do mesmo passarão a ser subaproveitadas, produzindo construções ainda longe de atingir uma boa construtibilidade.

Este trabalho traz informações qualitativas, segundo a percepção que se adquiriu com os estudos realizados. Ele está aberto à proposição de novos eixos de investigação, correções e incorporação de técnicas ligadas aos avanços tecnológicos e de gestão, bem como às observações dos profissionais da construção.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se indicar:

- a. O aprofundamento do estudo de outros fatores de influência e o grau com que os mesmos atuam sobre a construtibilidade;
- b. A elaboração de estudos quantitativos a respeito da construtibilidade;
- c. A sistematização de uma metodologia de avaliação da construtibilidade de um sistema e a adoção de parâmetros para sua medição;
- d. A discussão da construtibilidade do sistema construtivo desenvolvido, levando em conta o projeto e execução dos sub-sistemas e como estes influenciam a produtividade;
- e. Estudar outros componentes da alvenaria para este sistema, de modo a melhorar seu processo de execução;
- f. Verificar os custos do sistema construtivo e medir efetivamente a sua produtividade.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, C. A., **Alvenaria Estrutural: Novas Tendências Técnicas e de Mercado**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002.

AMÂNCIO, R.C.A., **Identificação de Fatores de Construtibilidade que influenciam as fases do Processo de Projeto em Pequenos Escritórios de Arquitetura – Estudo de Caso em Curitiba(PR)**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15270(ABNT, 2005)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15873(ABNT, 2010)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15575(ABNT, 2010)

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA. **Diagnóstico das Necessidades de Formação nas Empresas de Cerâmica**. – Coimbra, 2000.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA. **Manual de Alvenaria de Tijolo**. Coimbra. 2000.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Produtividade, Modernização e Melhoria na Indústria Cerâmica Vermelha**. Escola SENAI Mário Amato. São Paulo.

BARATTA, A.F.L., **Pareti Leggere e Stratificate in Laterizio**. **Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi** - Itália. Roma, 2006.

BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO – BNH. **Coordenação Modular da Construção**. São Paulo, 1978.

BRANDÃO, André Schramm Brandão. **Procedimentos de Execução de Serviço – Alvenaria Estrutural**: Fortaleza, 2002, 44p.

CAMACHO, J. S. et al. **Considerações sobre Fundações de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. NEPAE – UNESP – São Paulo.

CAMPOS, M. H. A. C. **A Construtibilidade em projetos de edifícios para o ensino superior público em Portugal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2002. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>. Acesso em: 17 de Outubro de 2011.

CII - *Construction Industry Institute. Constructability*.EUA.1986

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS ECONÔMICOS – DIEESE. **Boletim Trabalho e Construção. N. 04**. Out. 2010.

FABRÍCIO, M. M. ; MELHADO, S. B. **Projeto simultâneo e a qualidade na construção de edifícios**. Seminário Internacional NUTAU 98- Arquitetura e urbanismo: tecnologias para o século 21. São Paulo. FAU-USP.1998.

FISHER, M.; TATUM, C.B. **Characteristics of design relevant constructability knowledge**.J. Const. Eng. andManag. 1997;

FRANCO, L. S. **Aplicação de Diretrizes de Racionalização Construtiva para Evolução Tecnológica dos Processos Construtivos em Alvenaria Estrutural não Armada**. São Paulo: 1992.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Disponível em <www.fjp.gov.br>. Acesso em 20 deAbril de 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de Pesquisa Social**. SãoPaulo: Atlas, 1999.

GRIFFITH, A.; SIDWELL, A.C. **Development of constructability concepts, principles and practices**.JournalofEngineering, ConstructionandArchitecturalManagement. p.295-310.1997.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à coordenação modular da construção do Brasil: uma abordagem atualizada.** Coleção Habitare. Porto Alegre, 2007.

HEINECK, L. F. M; ROCHA, F. E. M; PEREIRA, P.E; LEITE, M. O. **Introdução aos Conceitos Lean – Visão Geral do Assunto.** Fortaleza. Ed. Expressão Gráfica, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acesso em 20 de Abril de 2011.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction.** Stanford, 1992. Technical Report #72. Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University.

LERSCH, Daniel. **Racionalização Construtiva em Alvenaria de Vedação.** Porto Alegre. 2005.

LORDSLEEN JÚNIOR, A. C. **Execução e Inspeção de Alvenaria Racionalizada.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 1993.

LUCINI, H. C. **Manual Técnico de Modulação de Vãos de Esquadrias.** São Paulo: Pini, 2001.101f.

MANUAL DE TECNOLOGIA BRIKA. **Alvenaria Estrutural.** Disponível em: <<http://www.bricka.com.br>>. Acesso em 30 de Setembro de 2010.

MANUAL TÉCNICO NIGLIO. **Alvenaria Estrutural.** Disponível em: <<http://www.niglio.com.br>>. Acesso em 30 de Maio de 2010.

MANUAL TÉCNICO SELECTA. **Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos.** Disponível em: <<http://www.selectablocos.com.br>>. Acesso em 27 de Agosto de 2010.

MANZIONE, L. **Projeto e Execução de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2004.

MARTINS, G. A. **Manual para elaboração de Monografias**.

MENDES, Paulo de Tarso Cronemberger. **Alvenaria Estrutural com Blocos Estruturais Cerâmicos**. Coleção Habitare Vol. 6.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Disponível em <www.cidades.gov.br>. Acesso em 20 de Abril de 2011.

MONTEIRO, J.M.F.A **Alvenaria Estrutural como um Processo Construtivo Potencialmente Enxuto – Uma visão a partir da LeanConstruction**. Canela – RS: Anais do XIII ENTAC, 2010.

MONTEIRO, J.M.F. **A Integração Projeto-Execução na Alvenaria Cerâmica Estrutural**. DEECC- UFC. Fortaleza, 2009.

MORORÓ, M. S. **Proposta de Projeto Arquitetônico para o Sistema MEHIS**. PEC-CT- UFC. Tecnologia das Construção, Fortaleza, 2010.

NASCIMENTO, L. A. do; SANTOS, E. T. **A Indústria da Construção na Era da Informação**. Revista Ambiente Construído – ANTAC. V.3 n. 1, Porto Alegre, 2003

PEIXOTO, F. M. **Sistemas hidráulicos prediais: proposta de diretrizes para a racionalização do seu processo produtivo**. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.

PROJETO HABITAÇÕES SUSTENTÁVEIS COM MELHORIA DOS PROCESSOS TRADICIONAIS(MEHIS). **Relatório final de Pesquisa**. FINEP/HABITARE. DEECC-CT- UFC. Fortaleza, 2010.

PROJETO UM MODELO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL PARA O ESTADO DO CEARÁ (HISCE). **Relatório Final**. FINEP. DEECC-CT- UFC. Fortaleza, 2009.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. Florianópolis: [s.n.], 2002.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Pini. São Paulo, 2003;

REGO, M. C. da S.; TAPIA, R. S. H. C. **Manual de Operação do Forno Hoffman** – Rio de Janeiro : SEBRAE/RJ, 2000

RICHTER, C. **Alvenaria Estrutural – Processo Construtivo Racionalizado**. NORIE – UFRGS – Rio Grande do Sul.

ROCHA, K. **Manual de Práticas recomendadas de Alvenaria Estrutural**. Fortaleza: ABCP, 2006.

RODRIGUES, M. B. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

RODRÍGUEZ, M. A. A. ; HEINECK, L. F. M. **A Construtibilidade no Processo de Projeto de Edificações**. Florianópolis: UFSC: 2002

ROMAN, H. R.; PARIZOTTO FILHO, S.. **Manual de alvenaria estrutural com Blocos Cerâmicos**. 2007

ROMAN, H. R., et al. **Alvenaria estrutural – programa de capacitação empresarial**. Módulo 1: administradores de obras, CD, Florianópolis, 2000.

ROMCY, N. M. e S. **Proposta de tradução dos princípios da coordenação modular em parâmetros aplicáveis ao buildinginformationmodeling.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2012.

ROSSO, T. **Teoria e Prática da Coordenação Modular.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – USP. São Paulo, 1976

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos – Formulação e Aplicação de uma Metodologia.** Tese de Doutorado. UPUSP. São Paulo, 1989.

SAN MARTIN, A. P. **Método de Avaliação de Tecnologias de Edificação para a Habitação de Interesse Social sob o ponto de vista da Gestão dos Processos de Produção.** Dissertação de Mestrado. CPGEC/UFRGS. Porto Alegre, 1999.

SANTOS, D. G., AMARAL, T. G. **Construtibilidade dos Projetos de Alvenaria Estrutural.** UFSC

SCARDOELLI, L. S. **Iniciativas de melhorias voltadas à qualidade e à produtividade desenvolvidas por empresas de construção de edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 1995.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Racionalização na Construção Civil.** Fortaleza: SENAI, 2003.

SERRA E SOUSA, A. V. **Manual de Alvenaria de Tijolo.** Coimbra: APICER, 2000.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M.. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** Florianópolis: Laboratório de ensino à distância da UFSC, 2001.

SILVA, M. A. C. **Sistemas Construtivos para Habitação de Interesse Social já desenvolvidos, aplicados e avaliados pelo setor privado.** NGI, 2004.

SINDICATO DA INDÚSTRIA CERÂMICA DO CEARÁ. **Censo Cerâmico do Ceará 2002**. SINDICER, FIEC, IEL, SEBRAE. Fortaleza, 2002.

TAPIA, R. S. H. C. et al. **Manual para Indústria Cerâmica Vermelha** – Rio de Janeiro : SEBRAE/RJ, 2000

VIVAN, A. L. **Projetos para Produção de Residências Unifamiliares em *Light Steel Framing***. Dissertação de Mestrado. São Carlos : PPGCC- UFSC., 2011.

ANEXO



BLOCO CERAMICO ESTRUTURAL PARA ALVENARIA - VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (NBR-15270-2/05)

INTERESSADO : Projeto Casinha - BERTINI

AMOSTRA	DIMENSÕES (mm)												MÉDIAS (mm)			ÁREA (mm ²)	Carga (Kgf)	f _{bi} (MPa)
	C (290mm)				H (190mm)				L (140mm)				C	H	L			
1P	100	100	100	100	195	195	195	195	99	99	99	99	100	195	99	9900	13002	13,1
2P	100	100	100	100	191	191	191	191	100	100	100	100	100	191	100	10000	11237	11,2
3P	100	100	100	100	191	191	191	191	99	99	99	99	100	191	99	9900	18.395	18,6
4P	100	100	100	100	195	195	195	195	100	100	100	100	100	195	100	10000	12.459	12,5
1M	202	202	202	202	186	186	186	186	99	99	99	99	202	186	99	19998	24.114	12,1
2M	205	205	205	205	198	198	198	198	99	99	99	99	205	198	99	20295	34.227	16,9
3M	202	202	202	202	191	191	191	191	100	100	100	100	202	191	100	20200	43.467	21,5
4M	205	205	205	205	198	198	198	198	99	99	99	99	205	198	99	20295	38.219	18,8
1G	301	301	301	301	190	190	190	190	99	99	99	99	301	190	99	29799	53.037	17,8
2G	298	298	298	298	199	199	199	199	97	97	97	97	298	199	97	28906	51.191	17,7
3G	298	298	298	298	198	198	198	198	100	100	100	100	298	198	100	29800	51.469	17,3
4G	300	300	300	300	191	191	191	191	99	99	99	99	300	191	99	29700	45.569	15,3

Data do Ensaio: 23/4/2010

- (2) Velocidade de ensaio: 500 N/s
 (3) O capeamento deve ter espessura de no máximo 3 mm



ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM BLOCOS CERÂMICO ESTRUTURAL

INTERESSADO : Projeto da casinha - Prof. BERTINI

AMOSTRA/ EXEMPLAR	MASSA SATURADA (g)	MASSA SECA(g)	ABSORÇÃO (%) INDIVIDUAL
1	5335	5026	6,1
2	5283	4975	6,2
3	5370	5042	6,5
4	5326	4976	7,0
		MÉDIA	6,5

Início: 22/04/10Término: 23/04/10Operador : Nonato/Valdemir