

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ORIENTAÇÕES PARA PROJETOS ARQUITETÔNICOS:
FUNCIONAMENTO ESTRUTURAL E PARTICULARIDADES
DO SISTEMA EM ALVENARIA ESTRUTURAL

AUTORA: MARIANA SILVEIRA DE BARROS RIBEIRO
ORIENTADOR: ROBERTO MÁRCIO DA SILVA
CO-ORIENTADOR: ROBERTA VIEIRA GONÇALVES DE SOUZA

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

ORIENTAÇÕES PARA PROJETOS ARQUITETÔNICOS:
FUNCIONAMENTO ESTRUTURAL E PARTICULARIDADES DO
SISTEMA EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Dissertação submetida ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Estruturas da
Universidade Federal de Minas Gerais como
requisito para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Estruturas.

Comissão examinadora:

Prof. Dr. Roberto Márcio da Silva
DEES - UFMG (Orientador)

Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza
TAU – UFMG (Co-orientadora)

Prof. Dr. Eduardo Cabaleiro Cortizo
LCC – UFMG

Profa. Dra. Rita de Cássia Silva Sant'Ana Alvarenga
DEC-UFV

Belo Horizonte, 31 de março de 2010

Aos meus pais e avós, pelo amor e
confiança dedicados a mim durante
todos os anos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, causa maior de todas as coisas, pelo dom da vida, pelo amor da minha família e amigos, e por ter me dado tantas oportunidades de crescer nos campos pessoal e profissional.

Gostaria de demonstrar minha profunda gratidão ao Prof. Dr. Roberto Márcio da Silva, pela confiança, orientação, generosidade, paciência e ensinamentos.

Agradeço à Prof. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, pela dedicação, ensinamentos e amizade, desde os tempos de minha graduação.

Em especial, ao Prof. Adalberto Carvalho de Rezende pela confiança incondicional, pela amizade, pelo incentivo e exemplo.

Aos professores do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG, pela atenção e conhecimentos passados, que tanto me acrescentaram. E a Maria Inês e demais funcionários, pelo carinho, disponibilidade e sorriso de todo dia.

Aos meus pais, Eunice e Arlindo, por me darem a oportunidade de vida, de estudar, de crescer. Por me mostrarem bons caminhos, bons exemplos de profissionalismo e de bom caráter. Obrigada por confiarem e acreditarem tanto em mim! E a minha irmã querida pelo incentivo, sempre!

Aos meus avós: José, Maria Ezilda, Hely e Nenzinha, pelo carinho e amor de sempre, pelo colo e abrigo tão especiais!

Aos meus tios e primos, que compreenderam minha ausência em tantas comemorações e momentos importantes. Obrigada pelas manifestações de carinho e amizade! À minha segunda família, a da Edirlane (Di), que sempre esteve ao meu lado.

Agradeço ao meu noivo Daniel pela paciência e dedicação, pelo amor que me acompanhou durante toda essa fase, sempre me incentivando nas horas mais difíceis. A toda sua família, agradeço com carinho.

Aos amigos que me acompanham há muitos anos, que tenho como irmãos: Rafaela, Priscila, Flavinha, Cristina, Danilo, André, Gelson, Lino, Emanuel, Filipa, Tiago, Ana, Vivi, Kika, Gianni, Camila, Janaína, Masa e Reinaldo. Obrigada pelo apoio! Aos amigos do NOLE, que me auxiliam na minha jornada.

Aos colegas de mestrado que se tornaram grandes amigos, sem os quais não seria possível conseguir mais essa vitória, em especial: Rodrigo, Everaldo, Amanda e Maíra.

Esta dissertação foi realizada com o apoio integral do CNPq, a quem gentilmente agradeço pelo apoio financeiro.

Agradeço também à FUNCESI e todos os colegas de trabalho, que, no pouco tempo de convivência me cativaram tanto! À Fernanda Pires e à Vetor Engenharia e Consultoria, onde fui tão bem recebida e se tornou grande escola.

Ao Ricardo Orlandi França, pelas orientações profissionais desde o tempo do CETEPS, onde tanto aprendi e de onde guardo ótimas lembranças. Aos queridos professores do Departamento TAU da Escola de Arquitetura da UFMG.

Às escolas e professores que estiveram em meu caminho, que auxiliaram na minha educação e formação como pessoa.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa.....	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivos Especificos.....	5
1.2.2 Limitações.....	5
1.3 Organização do Trabalho	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 Histórico do sistema	8
2.2 O sistema estrutural em alvenaria	10
2.3 Considerações do processo – Vantagens e desvantagens.....	11
2.4 Patologias.....	13
2.5 O arquiteto e o projeto para alvenaria estrutural	17
3. MÉTODO DE PESQUISA	21
3.1 Análise da formação do Arquiteto.....	23
3.2 Identificação dos temas relevantes ao projeto arquitetônico e principais autores.....	24
3.3 Hierarquização dos Temas	24
3.4 Aprofundamento em Desempenho Térmico de Envoltórias.....	26
3.4.1 Definição do projeto e os casos a serem analisados	27

4.	INTEGRAÇÃO ENTRE PROJETOS	30
4.1	Coordenação de Projetos e Racionalização da Construção.....	31
4.2	Qualidade do Projeto.....	36
4.3	Elaboração de um projeto otimizado em Alvenaria Estrutural	38
4.4	Fundação, Pilotis e Garagens	40
4.5	Escolha dos Blocos	42
4.6	Paredes Não Estruturais.....	42
4.7	Instalações	43
5.	COMPORTAMENTO ESTRUTURAL.....	47
5.1	Esbeltez.....	50
5.2	Arranjo das paredes	50
5.3	Balanços.....	54
5.4	O Funcionamento Estrutural e Resistência da Parede.....	56
5.5	Aberturas em Alvenaria Estrutural	60
6.	MODULAÇÃO	67
6.1	Componentes do sistema.....	67
6.2	Modulação	70
6.3	Amarração	79
6.4	Os Blocos Estruturais.....	81
6.5	Desempenho Acústico dos Blocos de Alvenaria Estrutural	85
7.	DESEMPENHO TÉRMICO DE ENVOLTÓRIAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL	89
7.1	Obtenção do Coeficiente de Transmissão Térmica (U)	90
7.2	Preenchimento e Análise da “Tabela de Avaliação de Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos”	92
7.3	Análise de resultados.....	94
7.4	Conclusões sobre o desempenho térmico das envoltórias utilizando o processo de alvenaria estrutural analisadas.....	95
8.	Conclusão	97
	REFERÊNCIAS	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Shaft visitável em projeto hidráulico.	13
Figura 3.1 - Porcentagem de Disciplinas de Exatas/Engenharias nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, segundo Rocha (2007).	23
Figura 3.2 - Projeto adotado: (a) Planta do pavimento típico e (b) perspectivas.	27
Figura 4.1 - O projeto arquitetônico como base para os demais projetos (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997).	30
Figura 4.2 - Arranjo tradicional (MELHADO, S. B. et al., 2005).....	32
Figura 4.3 - Sistema multidisciplinar (MELHADO, S. B. et al., 2005).	33
Figura 4.4 - Potencial de Influência no custo final de um empreendimento de edifício e suas fases (CII, 1987 apud MELHADO,2005).....	37
Figura 4.5 - Chance de reduzir o custo de falhas do edifício em relação ao avanço do empreendimento (HAMMARLUND; JOSEPHSON,1992 apud MELHADO,2005).	38
Figura 4.6 - Paredes em Alvenaria Estrutural sobre pilotis em concreto armado (BARBOSA, 2000).....	41
Figura 4.7 - Efeito Arco nas paredes e vigas (BARBOSA, 2000).....	41
Figura 4.8 - Shaft Hidráulico.....	44
Figura 4.9 - Tubulação hidráulica sob a laje(sistema pex), sem o forro (SANTOS, 2004).....	44
Figura 4.10 - Passagem vertical dos dutos na parede (RAUBER, 2006).	45
Figura 4.11 - Blocos com nichos para a passagem de tubulações (Cerâmica ABCD).	46
Figura 5.1 - Transferência de ação horizontal para as paredes (DUARTE, 1999).	48

5.2 - Edifício comparado com grandes vigas estruturais engastadas e a seção das paredes do pavimento como a parte resistente da vida, conforme Vasconcelos Filho (2007).	49
Figura 5.3 - Felice Condomínio Club, localizado em Curitiba (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2009)	49
Figura 5.4 - Exemplo de sistema celular (MACHADO, 1999)	51
Figura 5.5 - Sistemas de parede transversais simples (a) e duplo (b) (MACHADO, 1999).....	52
Figura 5.6 - Sistema complexo (MACHADO, 1999).....	53
Figura 5.7 - Altura do edifício e sua robustez (DRYSDALE <i>et al</i> , 1994 <i>apud</i> DUARTE, 1999).	54
Figura 5.8 - Estruturas em balanço (RAUBER, 2005).....	55
Figura 5.9 - Sacada ancorada em balanço.....	55
Figura 5.10 - (a) Sacada interna à projeção do edifício e (b) parcialmente em balanço (RAUBER, 2005).....	56
Figura 5.11 - Flambagem em barras (REBELLO, 2000).....	60
Figura 5.12 - Vergas e contravergas (disponível em www.fkct.com.br).	61
Figura 5.13 - Caixilhos pré-moldados (WINDBLOCK, disponível em www.windblock.com.br).	62
Figura 5.14 - Tensões de compressão em vãos de porta (MAMEDE, 2001).	63
Figura 5.15 - Tensões de compressão em vão de janela(MAMEDE, 2001).	64
Figura 5.16 - Verga pré-moldada na obra (SANTOS ,2004).	65
Figura 5.17 - Verga pré-fabricada em concreto armado (SANTOS,2004).	65
Figura 6.1 - Blocos Estruturais de concreto (a) e cerâmica (b).....	67
Figura 6.2 - Cinta sob laje em blocos "J" grauteados.	69
Figura 6.3 - Vãos normais e de esquina na arquitetura grega (NISSEN, 1976)	71
Figura 6.4 - Residência típica japonesa (CHING, 2002)	71
Figura 6.5- Reticulado modular espacial de referência (GREVEN & BALDAUF, 2007)	73
Figura 6.6 - Modulação de uma parede executada em alvenaria de blocos de concreto (GREVEN & BALDAUF, 2007)	74

Figura 6.7 - Juntas verticais de 1 cm.	75
Figura 6.8 - Juntas verticais e horizontais de 1 cm.....	76
Figura 6.9 - Juntas e revestimento externo.	76
Figura 6.10 - Exemplo de fiadas sem juntas a prumo.....	78
Figura 6.11 - Amarração direta entre as paredes.	79
Figura 6.12 – Amarração indireta de paredes feitas com grapas e ferros transversais (FKTC , disponível em www.fkct.com.br).....	80
Figura 6.13 - Família de blocos 29.	83
Figura 6.14 - Blocos da Família 39.	83
Figura 6.15 - Bloco "J" em concreto.....	84
Figura 6.16 - Bloco "U" em concreto.....	84
Figura 7.1 - Comparação entre os Coeficientes de Transmissão Térmica ($W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Fachadas da edificação analisada.	28
Tabela 3.2 - Módulos adotados.....	28
Tabela 3.3 - Casos analisados em cada módulo.....	29
Tabela 6.1 - Dimensões reais dos Blocos modulares e submodulares de Concreto, segundo NBR 6136.....	81
Tabela 6.2 Dimensões reais dos Blocos modulares e submodulares de cerâmica, segundo NBR 15270.....	81
Tabela 6.3 Isolamento acústico fornecido por painel de alvenaria estrutural (FRANCO, 2008; EGAN, 1988).	86
Tabela 4.4 - Índice de redução sonora ponderado dos componentes construtivos, R_w , para ensaios em laboratório(NBR 15.575 - ABNT, 2008).	88
Tabela 7.1 – Coeficiente de Transmissão Térmica ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).	91
Tabela 7.2 – Resultados de perdas e ganhos de calor através da envoltória dos edifícios simulados em Belo Horizonte, obtidos através do preenchimento da “Tabela de Avaliação de Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos”.	93

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica

ANTAC– Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

CETEPS – Centro de Experimentação, Treinamento e Prestação de Serviços

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DEES – Departamento de Engenharia de Estruturas

FUNCESI – Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO

O arquiteto deve conhecer o sistema estrutural e construtivo a ser utilizado, bem como suas particularidades para que faça um projeto otimizado, exeqüível e que dê um retorno financeiro ao empreendedor. Para ser executado em alvenaria estrutural, deve conter o detalhamento que o sistema construtivo exige. Conceitos como modulação vertical e horizontal, comportamento estrutural, e interface entre os projetos arquitetônicos e complementares devem ser observados durante sua elaboração. Visto que o processo estrutural em alvenaria vem sendo amplamente utilizado nas construções no Brasil e no mundo por apresentar uma solução racionalizada, econômica e de ágil execução, é importante preparar os profissionais que conceberão estes projetos. Este trabalho apresenta uma sistematização de conhecimentos bem como uma análise térmica de envoltórias de alvenaria, a fim de preparar o arquiteto e demais profissionais interessados, que irão projetar as edificações. O estudo visa da mesma maneira produzir um material para divulgação sobre o assunto. Desta maneira, espera-se obter projetos de alta qualidade de detalhamento, e que resultarão em ambientes construídos com um desempenho desejável ao longo de sua vida útil.

Palavras-chave: alvenaria estrutural; diretrizes projetuais; construtibilidade; compatibilização de projetos.

ABSTRACT

The architect must know the structural and constructive systems of a building, as well as its peculiarities that make an optimized design, feasible and economically viable to the entrepreneur. To be executed in masonry, it should contain constructive details that the system requires. Concepts such as vertical and horizontal modulation, structural behavior, and the interface between the architectural design and the complementary projects must be observed. Since the process in structural masonry has been widely used in buildings in Brazil and abroad by presenting a streamlined solution, economical and quick implementation, it is important to prepare professionals who will design these projects. The present study presents a systematization of knowledge and an thermal analysis of the envelopes built in masonry, in order to prepare and inform the architect and other interested professionals who design masonry buildings. The study also aims to produce a material disclosure on the subject. Thus, it is expected to obtain high quality detailment projects, and that will result in a built environment with a desired performance throughout its useful life.

Keywords: Structural Masonry; Guidelines for Projecting, Construction Methods, Compliance Projects.

1. INTRODUÇÃO

O arquiteto, como projetista, deve ser um profissional completo, compreendendo toda a complexidade do ambiente construído. Para tal, é de fundamental importância que ele domine as técnicas e possibilidades de construção: forma, função e tecnologia da construção. É necessário que conheça o comportamento estrutural do material a ser utilizado para que a forma desejada seja executável.

Segundo Rebello (2000), toda forma tem uma estrutura, e toda estrutura tem uma forma e, logo, quem cria a forma, cria a estrutura. Deste modo, o conhecimento do sistema estrutural e do material utilizado para compô-lo é primordial para a concepção de um bom projeto, pois, para conceber a forma é preciso saber qual o comportamento estrutural necessário e desejado.

Conhecendo o sistema construtivo e o material a ser empregado, o arquiteto poderá fazer um projeto otimizado e, sendo o projeto arquitetônico o definidor das características da edificação, suas diretrizes serão decisivas para a exequibilidade da obra e para o desempenho do ambiente construído (RAUBER *et al*, 2005). É desejável ainda que a edificação tenha um desempenho adequado ao longo de sua vida útil, buscando economia de energia tanto no processo de construção quanto na sua utilização, assim como apresente o mínimo de patologias possíveis durante esse período.

Portanto, no processo projetual, todas as condicionantes devem ser estudadas para que se tenha um projeto racionalizado e integrado, no qual, haja o mínimo de desperdício de material e energia durante a construção, seja de execução rápida e de maior qualidade e facilidade de construção e manutenção. Por isso o sistema em alvenaria estrutural, cuja racionalização se

deve à coordenação dimensional e à integração entre projetos, vem sendo crescentemente empregada no Brasil (RAUBER, 2005).

Entretanto, é comum encontrarmos projetos de Alvenaria Estrutural com baixo nível de detalhamento, bem como incompatíveis com os projetos complementares, pois a grande maioria é resultante de adaptações feitas em projetos arquitetônicos elaborados para serem executados em outros materiais.

Dessa maneira são encontradas inúmeras patologias nestes edifícios, oriundas da falta de detalhamento em projeto arquitetônico. Partindo do princípio de que todos os projetos complementares são concebidos a partir do projeto de arquitetura, esse deve apresentar aspectos técnicos que compatibilizem os demais com ele. Assim, o arquiteto deve conhecer o sistema estrutural e suas particularidades construtivas para que faça um projeto otimizado, exeqüível e que dê um retorno financeiro ao empreendedor. Essas preocupações garantirão uma maior compatibilidade entre os sistemas, diminuindo a possibilidades de haver patologias futuramente.

Além disso, é o arquiteto quem determina as características das edificações, não só as de ordem estética, mas as de ordem formal, funcional e econômica, devendo suprir as necessidades cotidianas de seus usuários. O projeto arquitetônico deve, então, apresentar todos os pormenores, contemplando a maior parte possível dos aspectos citados para a execução de um bom projeto, tanto para o construtor, quanto para o usuário.

Para que isso ocorra, no processo de concepção do projeto para ser executado em alvenaria estrutural, é necessário que o arquiteto esteja atento ao detalhamento e ao funcionamento do sistema estrutural/construtivo, e que haja um diálogo entre o projeto arquitetônico e os demais projetos ditos complementares. É fundamental que o arquiteto conheça as particularidades do sistema em alvenaria estrutural para que a interface entre os projetos seja feita

de maneira compatibilizada, ou seja, que os projetos sejam complementares e compatíveis.

Desta maneira utilizando projetos arquitetônicos voltados para a construção em alvenaria estrutural, estes apresentarão um menor número de patologias durante sua construção e sua utilização, reduzindo custos de manutenção e garantindo a qualidade da edificação.

1.1 Justificativa

Encontrando-se em franca expansão, o mercado imobiliário requer uma construção rápida, eficiente, de grande qualidade e custos baixos e, por atendê-los, o sistema em alvenaria estrutural tem sido muito utilizado. Infelizmente, o despreparo dos profissionais de arquitetura interfere na otimização do processo.

Conhecimentos sobre modulação, esbeltez, funcionamento estrutural, tipos de blocos e suas propriedades térmicas são importantes para o arquiteto acerca do sistema em alvenaria estrutural. Melo (2006) afirma que é comum o arquiteto apresentar dificuldades relacionadas à concepção voltadas diretamente para a execução e para a compatibilização entre os demais projetos, atribuídas à falta de conhecimento do arquiteto sobre do processo construtivo do sistema estrutural em alvenaria. A etapa de projetos para as construções em alvenaria estrutural é de suma importância, visto que o projeto transmitirá os procedimentos ao construtor, bem como auxiliará na alavancagem do sistema (MACHADO, 1999).

O arquiteto, responsável pelo projeto que servirá de base para os demais projetos, deve conhecer todas as particularidades do sistema, para que o fruto

do seu trabalho seja compatível e o mais racionalizado possível, evitando assim perdas de materiais, perdas energéticas, retrabalhos e improvisos para compatibilização. Esse profissional deve entender a importância de um projeto bem detalhado para que se tenha uma otimização na construção no sistema em alvenaria estrutural.

Um bom projeto para alvenaria estrutural, então, apresenta um alto nível de detalhamento, sendo necessário para sua concepção o conhecimento acerca do sistema, pois ele somente será útil à interface projeto-obra se houver preocupação de projetar para produzir, ou seja, se ele apresentar clareza, objetividade e um bom nível de detalhamento (BAGATELLI, 2002).

Como afirma Rauber (2005), “cabe ao arquiteto, utilizando todos os recursos técnicos possíveis, ao mesmo tempo que maximiza o desempenho da estrutura, explorar as possibilidades formais e estéticas”. E, para tal, é de fundamental importância o conhecimento do comportamento estrutural, a fim de conceberem projetos funcionais, que resultem em edificações com bons desempenhos ao longo da vida útil e que apresente o mínimo possível de patologias e manutenção.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é a sistematizar o conhecimento sobre o processo construtivo em alvenaria estrutural e suas particularidades, voltado para o ensino a arquitetos, de modo a criar um material de ensino eficaz que possa auxiliá-los na produção de projetos que apresentem um bom nível de detalhamento e compatibilidade com os demais projetos complementares, evitando a ocorrência de patologias mais comuns decorrentes de inadequações de projetos.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Elaborar material direcionado aos arquitetos e interessados em informações acerca das particularidades do sistema em alvenaria estrutural;
- Disseminar o conhecimento sobre o sistema estrutural em alvenaria;
- Contribuir para a melhora dos projetos a serem executados em alvenaria estrutural;
- Contribuir para a redução do número de patologias oriundas de falhas de projeto arquitetônico, através da estruturação de conhecimentos necessários para evitar as patologias mais comuns e para a elaboração de projetos mais compatíveis com os demais projetos ditos complementares;
- Contribuir com as análises de desempenho térmico de envoltórias em alvenaria estrutural;

1.2.2 Limitações

- O trabalho se restringe ao estudo da alvenaria estrutural não armada;

- O trabalho tem como público-alvo principal os arquitetos, por isso foca em projeto arquitetônico e nas particularidades estruturais da alvenaria.

1.3 Organização do Trabalho

Para o maior entendimento do trabalho, no capítulo 1 é feita a introdução, a justificativa do trabalho, e são expostos os objetivos que são almeçados com o mesmo.

A metodologia utilizada e os fundamentos teóricos que embasaram este trabalho está descrita no segundo capítulo.

No terceiro capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica que contempla o histórico do uso da alvenaria, seu uso atual, vantagens e desvantagens do processo construtivo bem como o embasamento teórico que serviu de mote para esse trabalho.

O papel do arquiteto como projetista e personagem principal na compatibilização e detalhamento de projetos para alvenaria estrutural é abordada no capítulo 4.

O funcionamento estrutural do sistema de alvenaria é descrito no capítulo 5, bem como a influência do projeto arquitetônico no comportamento estrutural das paredes.

No capítulo 6, são explicitadas as particularidades construtivas e do sistema em alvenaria estrutural como um todo, e sobre os cuidados que o arquiteto deve ter com cada um desses itens.

Durante a elaboração deste trabalho, foi realizada uma análise de desempenho térmico da envoltória de alvenaria estrutural considerando os diversos tipos de bloco normatizados e encontrados no mercado brasileiro. Este estudo encontra-se no capítulo 7.

No capítulo 8 está a conclusão do trabalho, e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico do sistema

O homem, no afã de se proteger das intempéries, construiu, ergueu seu abrigo e gerou espaços que foram além desta função: são espaços de convívio, de trabalho, de moradia, de estudo, alimentação e lazer (D'ALEMBERT, 1993).

De acordo com os materiais disponíveis, o gosto artístico, a necessidade e o conhecimento técnico existente, os espaços foram configurados e definidos, resultando em soluções arquitetônicas diversas, e gerando novos conhecimentos a respeito de materiais e aperfeiçoando tecnicamente os profissionais da construção (MELO, 2006).

Os progressos tecnológicos da construção, atrelados aos conhecimentos gerados, resultaram na evolução dos processos até então empíricos por processos embasados em metodologias científicas. O sistema em alvenaria, utilizado pelo homem há mais de 2000 anos nas construções – como, por exemplo, do Coliseu e das pirâmides do antigo Egito –, e consolidado pela sua durabilidade (DUARTE, 1999), foi estudado em meados do século XX, quando cálculos e estudos científicos definiram seu uso como tecnologia moderna de construção.

Os estudos acerca do processo surgiram fora do Brasil, mas na década de 60 a tecnologia foi incorporada no país na construção de edifícios de habitações populares com quatro ou cinco pavimentos e, posteriormente, na construção de grandes conjuntos habitacionais (ROSSO S. , 1994). Porém, as patologias e problemas construtivos que foram detectados em larga escala

devido aos descuidos técnicos na fabricação dos blocos e à falta de conhecimentos acerca da técnica construtiva (CURY, 1977), fizeram desaquecer o mercado, confiante em uma tecnologia de construção mais rápida e com menores custos.

Nas décadas de 80 e 90, o mercado para a alvenaria estrutural foi fomentado novamente devido às pesquisas nas universidades brasileiras, bem como as aplicações da metodologia desenvolvida por construtoras que investiram em construções em todo o país, o que contribuiu para uma maior aceitação do processo construtivo a partir deste momento (LUCINI, 1984).

A técnica no Brasil ainda não é utilizada com tanta profusão como em outros países, a exemplo de Portugal, aonde, segundo Lourenço e Souza (2002), aproximadamente 60% das edificações são construídas em alvenaria estrutural.

O receio de abandonar as técnicas bem dominadas do concreto armado, as diversas patologias apresentadas nos edifícios erguidos nos anos 60, assim como o “mito da inflexibilidade arquitetônica”, geraram um preconceito com o sistema construtivo em alvenaria estrutural no Brasil. Contudo, este já se encontra em processo retroativo: a alvenaria estrutural tem sido utilizada de forma expressiva em habitações populares construídas nos últimos anos e, devido aos avanços das pesquisas sobre a técnica, aliados ao baixo custo e rápida execução, tem sido utilizada nas construções de edifícios para classes sociais mais elevadas, principalmente em São Paulo (RAUBER, 2005; MELO, 2006).

Hoje em dia podem ser encontrados diversos estudos sobre diversos blocos, argamassas e peças complementares. O cálculo estrutural de alvenaria armada, e não armada, foi especificado em normas específicas e de acordo com cada tipo de material do bloco. Estão sendo estudadas também as propriedades

térmicas, acústicas e mecânicas desses componentes para um melhor desempenho estrutural e no nível de conforto para os habitantes e/ou usuários dos ambientes que envolvem.

2.2 O sistema estrutural em alvenaria

O processo construtivo em alvenaria, através de estudos sistemáticos e de várias pesquisas, deixou de ser um simples empilhamento empírico de blocos ou tijolos, como nos primórdios da humanidade, para progressivamente alcançar o status de desenvolvimento construtivo da atualidade.

No que toca à alvenaria estrutural, a arquitetura e a estrutura se fundem em um só sistema, posto que as paredes da construção configuram a própria estrutura de sustentação. Além disso, o modo de construir, bem como o tipo de material utilizado, irão condicionar o comportamento estrutural da parede como um todo. Para Machado (1999), o “processo construtivo se caracteriza pelo emprego de paredes de alvenaria – as quais constituem ao mesmo tempo os subsistemas estrutura e vedação – e por lajes enrijecedoras, como principal estrutura suporte dos edifícios”.

Nesse sentido, a alvenaria estrutural trabalha prioritariamente a esforços de compressão, embora admita haver esforços de tração em algumas peças (RAMALHO & CORRÊA, 2003). Utiliza as paredes como vedação e estrutura, resistindo às cargas verticais como cargas de ocupação e seu peso próprio, e aos esforços laterais como o desaprumo e cargas oriundas da ação dos ventos (OLIVEIRA, 2003).

Uma das características principais do sistema é a modulação. O módulo é adotado na fase de projeto e definirá as dimensões das paredes em planta e elevação. A modulação é definida na escolha do bloco, garantindo a

padronização da construção, de modo a diminuir os custos de material a ser utilizado. Sua escolha é uma etapa de projeto muito importante, pois auxiliará na definição de características dos ambientes como desempenho térmico e acústico.

2.3 Considerações do processo – Vantagens e desvantagens

O processo em alvenaria estrutural permite uma construção rápida e com custos menores se comparado aos processos mais utilizados como o popular concreto armado. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a principal vantagem na utilização da alvenaria estrutural é sua simplicidade construtiva. Melo (2006), afirma que nas construções em que o processo em alvenaria estrutural é utilizado pode ser verificada uma redução significativa no consumo e no desperdício dos materiais. As paredes de alvenaria estrutural, pelo fato de serem dimensionadas para suportar as cargas como um único elemento, e serem autoportantes, não permitem que sejam feitos rasgos e nem intervenções posteriores. Mais uma vez, é reforçada a importância de um bom projeto arquitetônico, pois as mudanças posteriores não são permitidas, a não ser se estiverem planejadas.

Melo (2006), assim como Ramalho e Corrêa (2003), apontam que no processo tem-se a economia de formas, as quais se utilizam, se for o caso, na concretagem das lajes. Os autores ainda pontuam a redução de material gasto no revestimento, visto que há o controle de qualidade dos blocos e da execução das paredes, assim como a redução do número de especialidades da mão-de-obra, já que o número de armadores e carpinteiros é reduzido. Ressaltam também a flexibilidade no ritmo da execução da obra, no caso das lajes serem pré-moldadas.

Essas reduções significativas de mão-de-obra e desperdícios, bem como o controle de qualidade de blocos e obra, resultam em uma obra menos dispendiosa, além de eliminar retrabalhos. Desse modo, temos uma construção racionalizada.

O fato de a vedação ser a estrutura garante a montagem rápida, e, como existe um único elemento assumindo múltiplas funções, a parede estrutural pode ser bastante vantajosa e eliminar problemas que viriam a surgir na interface destes sistemas (MACHADO, 1999).

No entanto, os blocos que estão disponíveis no mercado e normatizados, limitam a altura dos edifícios, pois apresentam certa resistência à compressão, e, quando ultrapassam 16 pavimentos, passam a necessitar do auxílio de armadura e graute para resistirem às tensões de tração, aumentando o custo da obra.

A construção em alvenaria estrutural deve seguir um arranjo em toda a área da construção, de modo que cada uma atue como elemento enrijecedor da outra, impedindo a concentração de carregamentos em determinadas paredes ou regiões, sobrecarregando as mesmas (FRANCO, 1992). Faz-se necessária também certa simetria para que os esforços de torção sejam evitados em se tratando de estabilidade global e esforços laterais (FRANCO, 1992).

Essas paredes estruturais, que são distribuídas no projeto, não podem ser removidas posteriormente, pois cumprem a função de sustentação do edifício, sendo consideradas no cálculo estrutural e, originando a expressão "mito da inflexibilidade arquitetônica". O fato da maioria das paredes serem estruturais não impede a construção de paredes somente para vedação internas e externas, as quais poderão ser removidas e/ou modificadas no decorrer da vida útil da edificação. Essas paredes de vedação, se existirem, não

serão consideradas no cálculo estrutural como parte resistente, mas devem ser incluídas na lista de cargas sobre a laje.

O fato das paredes não poderem ser modificadas inclui não poder fazer rasgos para a passagem de tubulações elétricas ou hidráulicas, sendo necessários shafts (figura 2.1) ou paredes não estruturais para esse fim. Caso haja tubulações embutidas durante a construção nos furos dos blocos, esses não poderão ser rasgados futuramente para manutenções ou reparos.

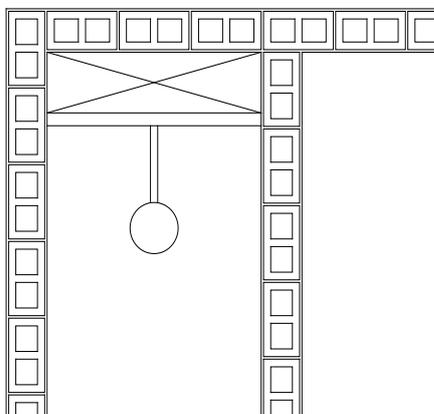


Figura 2.1 - Shaft visitável em projeto hidráulico.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), outro ponto relevante na construção utilizando a alvenaria estrutural é a necessidade de mão-de-obra qualificada, treinada previamente para a execução das paredes para manter a qualidade da construção e a segurança da edificação.

2.4 Patologias

As anomalias que ocorrem em uma edificação recebem o nome de patologias. Nas edificações em alvenaria estrutural, segundo Bauer (2009), são causadas por falta de qualidade no projeto, na execução ou na utilização do

mesmo. Segundo o autor, os cuidados com a qualidade da edificação devem partir dos quesitos de qualidade conforme indica o diagrama de Ishikawa:

- Material: cuidados com qualificação técnica dos fabricantes, atendimento às normas de fabricação, controle de compras, recebimento e estocagem correta dos materiais;
- Metodologia: Projeto, estocagem de materiais e execução segundo as normas técnicas, execução de projeto arquitetônico bem detalhando, com soluções de térmica, acústica e umidade; solução das interfaces entre os projetos ditos complementares; elaboração de manual do proprietário.
- Máquinas: Ferramentas necessárias para a execução correta das alvenarias à disposição dos funcionários da obra, boa distribuição das máquinas no canteiro, utilização ergonômica, instrumentos para ensaios devidamente calibrados.
- Mão-de-obra: Qualificação da mão-de-obra;
- Meio-ambiente: Cuidados com o meio ambiente durante o projeto e obra, evitando desperdícios e retrabalhos, perda de material por má estocagem, por execução inadequada ou falta de especificação em projeto.

As principais anomalias observadas em alvenarias estruturais são as fissuras, as eflorescências e infiltrações de água.

As fissuras podem ocorrer nas juntas ou nos blocos, e suas causas podem estar atreladas à qualidade dos blocos, à qualidade da argamassa de assentamento, à geometria do edifício, à sua esbeltez, às armaduras, à não

existência de paredes de contraventamento, aos recalques diferenciais nas fundações e às movimentações higroscópicas ou térmicas (BAUER, 2009).

As eflorescências, manchas esbranquiçadas nas superfícies das paredes causadas por depósitos salinos, são sinais de que há infiltração na alvenaria, seja proveniente de infiltrações ou de vazamentos das tubulações. Podem ser evitadas com um bom detalhamento de fundações e com a correta compatibilização entre projetos hidráulico, arquitetônico e estrutural, permitindo a manutenção e inspeção sem necessidade de quebra de blocos.

As infiltrações, por sua vez, são caracterizadas por manchas de umidade, corrosão, eflorescências, bolores, descolamento de revestimento, dentre outros. Podem ser causadas por entrada de água na alvenaria pelas fissuras, absorção capilar, por condensação ou higroscópia de água. Bauer (2009) alerta que muitas infiltrações podem ser evitadas com detalhamentos e especificações nos projetos como boa orientação das fachadas e detalhamento correto de calhas, rufos, frisos, pingadeiras, beirais, platibandas que protegerão a edificação contra a penetração de água da chuva.

Segundo Coelho (2008), as patologias estão relacionadas principalmente com a movimentação das lajes de andares superiores, às variações causadas pela mudança de umidade no volume dos blocos, e deformações verticais excessivas das estruturas de apoio, ou seja, o efeito arco.

Silva e Abrantes (2007) destacam que o projeto correto das alvenarias é uma das melhores formas de prevenção de patologias e que tem papel decisivo não só para que as alvenarias desempenhem seu papel de vedação, mas também suas funções estruturais. A tabela 2.1 mostra fatores de projeto relacionados a patologias que provocarão na vida útil do edifício, segundo os autores.

Tabela 2.1 - Deficiências de projeto e patologias recorrentes (SILVA & ABRANTES, 2007).

Deficiências de Projeto	Patologias
<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente avaliação do desempenho da parede, quer na globalidade, quer na ligação a outras partes do edifício, no que respeita à penetração da água, durabilidade e comportamento estrutural; • Insuficiente avaliação e determinação das propriedades a exigir ao tijolo e à argamassa; • Especificações de materiais, testes e técnicas de execução omissas ou vagas, remetendo para “procedimentos habituais de qualidade reconhecida” e para a “experiência da mão-de-obra”; • Pormenorização incompleta, com utilização excessiva de desenhos tipo, eventualmente não adaptados à obra em causa, deixando a verdadeira pormenorização para a fase de execução; • Negligência na determinação dos movimentos revisíveis, na definição das exigências do suporte (em particular em paredes de fachada) e imposição das necessárias juntas de expansão-contracção, quer verticais, quer horizontais; • Negligência na determinação das exigências estruturais das paredes exteriores face à ação do vento e na adoção das soluções construtivas delas decorrentes (grampeamento, apoios suplementares, etc.); • Negligência na previsão das deformações estruturais e da sua influência sobre as alvenarias, em particular nos fenômenos de fissuração; • Desconhecimento ou má interpretação e aplicação dos códigos, regulamentos e bibliografia técnica e científica da especialidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Juntas de dilatação inadequadas; • Apoio deficiente das paredes para correção das portas térmicas; • Erros na utilização de barreiras pára-vapor e de pinturas impermeáveis; • Proteção inadequada contra a umidade ascensional; • Preparação e aplicação inadequadas de rebocos hidráulicos tradicionais; • Aplicação inadequada de revestimentos cerâmicos; • Execução de peitoris com geometria e materiais inadequados; • Fissuração da alvenaria sobre suportes muito deformáveis; • Erros frequentes em paredes de tijolo vista;

Manzione (2004) reforça sobre a importância de uma boa modulação para garantir que sejam feitas amarrações diretas evitando juntas a prumo, garantindo rigidez necessária nos apoios. O autor destaca ainda que se devem planejar as instalações para não ocorrer cortes que causarão a perda de resistência da parede, a fim de evitar fadiga da estrutura e fissurações posteriores.

Como pode ser observado o projeto é, portanto, grande definidor de qualidade da edificação. A falta de detalhamento e de especificações podem gerar a perda da qualidade e conseqüentemente, gerar patologias futuras.

2.5 O arquiteto e o projeto para alvenaria estrutural

Conforme Melo (2006) é comum o arquiteto apresentar dificuldades relacionadas à concepção voltadas diretamente para a execução e para a compatibilização entre os demais projetos, atribuídas à falta de conhecimento do arquiteto acerca do processo construtivo estrutural em alvenaria estrutural.

Em sua Dissertação de Mestrado, Melo (2006) faz um diagnóstico com arquitetos e engenheiros sobre as necessidades e dificuldades que o arquiteto possui para elaborar um projeto otimizado em alvenaria estrutural. Os resultados demonstram que a maior parte delas é decorrente da falta de informação sobre o comportamento estrutural, à modulação e à integração do projeto arquitetônico com os demais projetos. Ainda segundo Melo, esses resultados mostram uma lacuna na formação técnica do arquiteto, havendo então a necessidade de desenvolver novos canais de transferência de informação adequados para que esses profissionais desempenhem bem sua função de projetista.

No trabalho em questão, a Melo faz um estudo dessas dificuldades encontradas pelos arquitetos em conceber e detalhar esse tipo de projeto, bem como faz um levantamento das necessidades apontadas pelos mesmos e por engenheiros que calculam esse tipo de estrutura e/ou a executam em obras. Como conclusão, apresenta tabelas de dificuldades e/ou necessidades, tabelas 2.2, 2.3 e 2.4, relacionadas a comportamento estrutural, modulação e integração entre projetos. Constata, neste estudo, a carência de material informativo sobre o sistema estrutural adequado aos arquitetos. Ao final, analisa um dos poucos canais de transferência de informação encontrados no mercado voltado para arquitetos, que foi considerado inadequado em relação às necessidades e dificuldades dos arquitetos apontadas na pesquisa.

Tabela 2.2- Necessidades e dificuldades dos arquitetos - modulação (MELO, 2006).

MODULAÇÃO
Necessidades/Dificuldades
Conhecer a linha de produtos
Conhecer as famílias de blocos existentes no mercado
Compreender a importância da amarração
Compreender o lançamento do módulo em planta e em elevação
Conhecer a possibilidade de fazer ajustes em plantas sem dimensões modulares
Conceber o projeto de forma modular, com medidas adequadas às dimensões dos blocos
Compreender o conceito de modulação
Entender os requisitos necessários para amarração das paredes
Sugestões de situações de amarração e modulação com ilustrações

Tabela 2.3 - Necessidades e dificuldades dos arquitetos - comportamento estrutural de alvenaria (MELO, 2006).

COMPORTAMENTO ESTRUTURAL
Necessidades/Dificuldades
Saber as características mais importantes do processo construtivo em alvenaria estrutural
Entender comportamento dos vãos
Entender procedimentos de distribuição de ações horizontais (contraventamento)
Entender como as cargas verticais se distribuem
Conhecer conceito de espessura efetiva
Conhecer o conceito de esbeltez
Conhecer o conceito de estabilidade da parede
Conhecer o conceito de alvenaria estrutural
Conhecer características dos materiais utilizados em obras de alvenaria estrutural
Compreender a possibilidade de previsão de balanços em obras de alvenaria estrutural
Conhecer vantagens/desvantagens de utilizar um outro processo construtivo na mesma obra
Saber que, em alvenaria estrutural, deve haver continuidade das paredes
Compreender o conceito de amarração e sua relação com a estrutura
Entender a função das juntas
Conhecer aspectos econômicos das suas decisões arquitetônicas
Conhecer as normas utilizadas para projetos de alvenaria estrutural

Tabela 2.4- Necessidades e dificuldades dos arquitetos – Integração entre projetos (MELO, 2006).

INTEGRAÇÃO ENTRE PROJETOS Necessidades/Dificuldades
Realizar reuniões preliminares ao início da concepção do projeto
Realizar reuniões periódicas com todos os projetistas envolvidos no projeto
Compreender as questões construtivas para discutir com os demais projetistas
Ter intercâmbio de experiências com outros projetistas
Assumir a competência de delegar as informações aos projetos complementares
Ter sempre contato com o engenheiro civil
Incentivar contratação dos projetistas no início da concepção do projeto arquitetônico, criando uma equipe multidisciplinar.

Estas tabelas foram fundamentais na definição dos assuntos a serem tratados nesta dissertação, visto que foram construídas a partir de um diagnóstico científico, com o objetivo de orientar futuros pesquisadores e elaboradores de cursos e/ou materiais didáticos para arquitetos sobre alvenaria estrutural.

Foi levantado, também nesta pesquisa, que os arquitetos buscam suprir a sua necessidade de conhecimentos acerca de alvenaria estrutural por meio de canais de transferência de informações existentes, porém dificilmente são encontrados exemplares de consulta para arquitetos, sendo a maioria destinada aos engenheiros civis.

Já Carvalho (2000), em sua dissertação de mestrado, faz uma avaliação do uso de cursos como mecanismo de transferência de tecnologia em Alvenaria Estrutural para arquitetos e engenheiros, através de cursos ministrados em Belo Horizonte/MG, Florianópolis/SC e São Paulo/SP. Ao final, faz a proposta de uma nova grade curricular para a capacitação de arquitetos e engenheiros, composta por um módulo básico em comum aos dois profissionais e um módulo específico para cada profissional.

Rauber (2005) propôs em sua dissertação de mestrado a aplicação dos princípios de construtibilidade e desempenho na elaboração de projetos

arquitetônicos de edifícios de alvenaria estrutural, visando a qualidade da edificação. O autor também demonstra a necessidade de uma literatura voltada preferencialmente para arquitetos, contribuindo para o aprimoramento de projetos concebidos nesse sistema estrutural.

Os conhecimentos operacionais, gerenciais e tecnológicos que são necessários para a elaboração de um bom projeto em alvenaria estrutural são abordados por Machado (1999), em sua dissertação de mestrado.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Para a elaboração deste trabalho foi realizada uma extensa revisão bibliográfica acerca do assunto, bem como conversas informais com profissionais que atuam na elaboração de projetos arquitetônicos e estruturais utilizando o processo construtivo em alvenaria estrutural, e que apontaram carência de literatura voltada especificamente para arquitetos.

Foram selecionados trabalhos acadêmicos, textos disponíveis em websites, livros e artigos que abordavam as particularidades dos projetos para serem construídos em alvenaria estrutural.

Durante a revisão bibliográfica observou-se que grande parte das patologias estruturais e construtivas dos edifícios erguidos em alvenaria estrutural eram oriundas de falhas projetuais, advindas de lacunas curriculares na formação dos arquitetos, o que é explicitado no item 3.1.

Para projetar um edifício a ser erguido em alvenaria estrutural, devem ser observados detalhes desde a fase pré-projetual que garantirão a otimização do uso do sistema.

O despreparo dos arquitetos para lidar com o sistema, aliada à falta de informação voltada especificamente para este público, gerou o mote deste trabalho.

Foram identificadas patologias recorrentes em edifícios em alvenaria estrutural tratadas na literatura e em anais de congressos, todas provindas de falhas projetuais, bem como suas respectivas causas, e que foram expostas no item 2.4 desta dissertação. Baseando-se nessas premissas e em trabalhos que contemplavam necessidades e/ou dificuldades que o arquiteto apresenta ao

projetar um edifício a ser construído utilizando este sistema, foram definidos os itens a serem descritos no trabalho.

Baseado nas premissas de que falta ao arquiteto conhecimento acerca do sistema para que elabore melhores projetos a serem construídos em alvenaria estrutural, foi realizada uma coleta de dados sobre a real necessidade de aprendizagem de modo que sejam sanadas as deficiências de formação deste profissional. Essas necessidades foram descritas por Melo (2006), e organizadas por temas conforme foi mostrado nas tabelas 2.2, 2.3 e 2.4.

As informações foram sistematizadas de maneira de fácil entendimento, de modo a auxiliar arquitetos, a fim de melhorar a qualidade dos projetos para serem executados em alvenaria estrutural. Essa sistematização pode ser a base de um futuro curso a distância ou presencial, ou uma literatura complementar que sirva de canal de transferência de informação para os esses profissionais.

Em todos os casos analisados de bibliografia sobre alvenaria estrutural, o estudo do conforto ambiental e das propriedades térmicas dos blocos são apontados como imprescindíveis para que o edifício seja funcional e econômico como o esperado, porém o assunto não é explorado.

No Brasil, já estão sendo elaboradas as regulamentações de Eficiência Energética, estando em vigor os Requisitos Técnicos da Qualidade para para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e de Serviços e Públicos”, e prevista, para o ano corrente, a aprovação do Requisito para edifícios residenciais. Além disto, está em vigor desde o ano de 2008 a Norma Brasileira de Desempenho de Edificações de até cinco pavimentos, NBR 15.575 (ABNT, 2008), onde são explicitados, entre outros, requisitos mínimos para o desempenho térmico de paredes. Desta maneira, é necessário incluir orientações aos arquitetos sobre as propriedades térmicas das envoltórias do processo em Alvenaria Estrutural, bem como dos blocos que as compõem.

Como foi observado a ausência de material sobre a análise térmica de envoltórias de alvenaria estrutural, será realizado um estudo no capítulo 6, aprofundando sobre o assunto.

3.1 Análise da formação do Arquiteto

Rocha (2007), em sua monografia sobre a atualização curricular, analisa os currículos de 14 das principais Universidades brasileiras que oferecem o curso de Arquitetura e Urbanismo. Em apenas 9 delas são citadas explicitamente ementas específicas das áreas de Exatas e/ou Engenharia durante o curso, e, quando existem, representam, em média, 11% na carga horária total do curso (Fig 3.1).

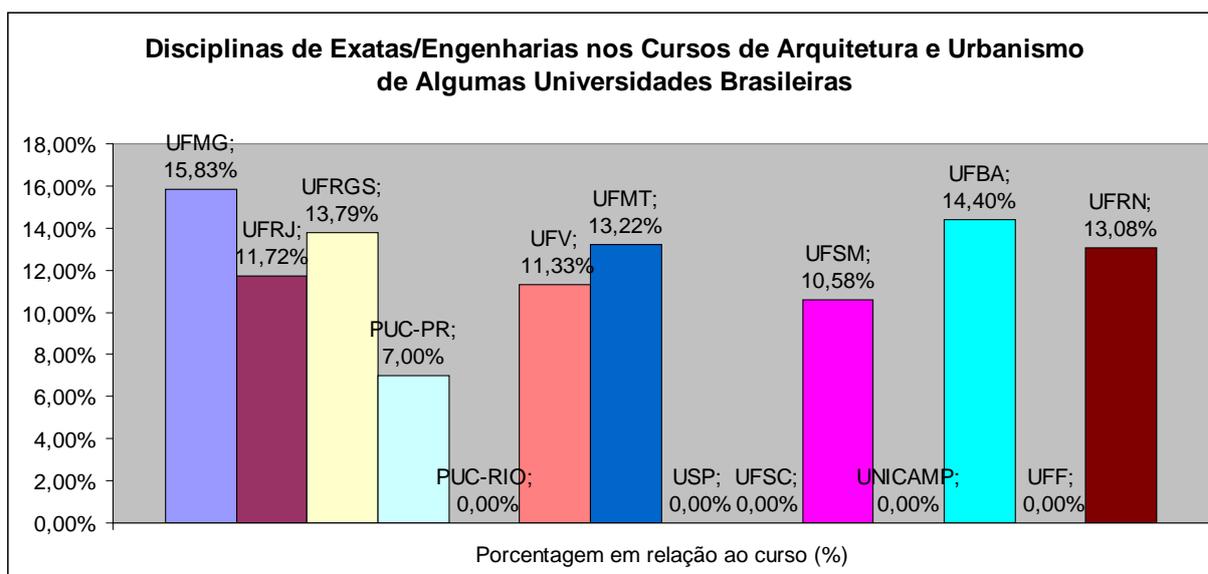


Figura 3.1 - Porcentagem de Disciplinas de Exatas/Engenharias nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, segundo Rocha (2007).

Neste momento é interessante refletirmos sobre a necessidade de o arquiteto agregar conhecimentos extracurriculares para que possa se especializar em um determinado assunto, inclusive no que se refere às estruturas. O conhecimento generalista pode ser insuficiente para conceber projetos em sistemas estruturais mais complexos, como é o caso da Alvenaria Estrutural, no qual se faz necessário conhecer especificidades e particularidades de detalhamento e projeto.

3.2 Identificação dos temas relevantes ao projeto arquitetônico e principais autores

Foram identificados na coleta de dados, apresentada capítulo anterior, os principais trabalhos com este foco bem como na orientação de profissionais da construção acerca do sistema.

Utilizando a bibliografia selecionada, bem como de conhecimentos adquiridos na prática de projetos estruturais de alvenaria, foram estruturados e desenvolvidos os itens que serão tratados nos capítulos 4, 6 e 7, os quais contemplam os itens da estrutura definida por Melo (2006).

3.3 Hierarquização dos Temas

Os temas identificados foram divididos neste trabalho nos quatro capítulos seguintes, seguindo a estrutura de Melo (2006), conforme a esquematização a seguir.

- Compatibilização de Projetos
 - Coordenação de Projetos e Racionalização da Construção;

- Elaboração de um projeto otimizado em Alvenaria Estrutural;
- Relação da Fundação, Pilotis e Garagens;
- Escolha dos Blocos: Parâmetros para a escolha;
- Uso de Paredes Não Estruturais;
- Modo de realização das instalações.
- O comportamento estrutural das paredes do projeto
 - Esbeltez: Conceito;
 - Arranjo das paredes: Definição da estrutura do edifício;
 - Balanços: Utilização e tipos compatíveis com o sistema;
 - O Funcionamento Estrutural e Resistência da Parede;
 - Aberturas em Alvenaria Estrutural: comportamento dos vãos;
- Premissas básicas - Caracterização do sistema em Alvenaria Estrutural
 - Componentes do sistema: Definição dos componentes do sistema e de suas funções;
 - Os Blocos Estruturais: Blocos normatizados pela legislação brasileira, materiais dos quais são compostos e dimensões;
 - Modulação: Conscientização da importância da modulação no projeto para alvenaria estrutural;
 - Amarração: Como as paredes devem ser projetadas;
 - Desempenho Acústico dos Blocos de Alvenaria Estrutural: explicitação das propriedades acústicas dos blocos;
 - Cuidados com desempenho acústico que se deve ter na elaboração projeto e na especificação de materiais;
 - Desempenho Térmico de Envoltórias de Alvenaria Estrutural;
 - Premissas de projeto para alvenaria estrutural em relação ao desempenho térmico;

3.4 Aprofundamento em Desempenho Térmico de Envoltórias

Para as análises de desempenho térmico de envoltórias de alvenaria estrutural presente no capítulo 4, foi realizada uma pesquisa sobre os blocos estruturais comercializados e normatizados no Brasil e coletados dados de suas propriedades térmicas e de seus materiais. Utilizando planilhas eletrônicas, será avaliado o desempenho térmico de painéis de diversas espessuras e compostos dos materiais identificados através da obtenção dos coeficientes de transmissão térmica. Esse estudo será abordado em detalhes neste trabalho no capítulo 5.

A análise será realizada em 48 casos selecionados, divididos em 6 módulos, que relacionam painéis de paredes com materiais diferentes (como mostra a Tabela 4.2), e orientações de fachada diferentes (de acordo com a Tabela 4.3). Os painéis serão analisados quanto ao ganho e perda de calor através da envoltória utilizando a “Tabela de Avaliação de Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos” desenvolvida por Souza e Pereira (2004) em uma disciplina de pós-graduação de Ensino sobre Conforto Ambiental do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC.

A tabela a ser utilizada analisa as condições térmicas da edificação nos dias críticos de inverno e de verão em termos do desempenho térmico da edificação. Assim pode-se, parametricamente, analisar os possíveis ganhos e perdas nos extremos de calor, considerando-se os ganhos por radiação solar no solstício de verão e as perdas máximas ocorridas às 6:00h da manhã no solstício de inverno. Terão-se, então, as primeiras diretrizes para o projeto arquitetônico, bem como noção das características físicas do objeto a ser construído.

3.4.1 Definição do projeto e os casos a serem analisados

Para analisarem-se as perdas e ganhos de calor, foi utilizado um exemplo típico de projeto executado em Alvenaria Estrutural nas construções para média e baixa renda em Belo Horizonte e também em várias cidades do país. Trata-se de um prédio de 4 pavimentos com 4 apartamentos por pavimento, planta de partido H, com dimensões próximas e de dupla simetria, apresentado na Figura 3.2. Foram consideradas somente as áreas e volumes correspondentes aos apartamentos, pois não se considerou, neste momento, relevante a observação do conforto térmico dos locais de circulação vertical e horizontal do edifício.

Assim sendo, há dois tipos de fachada: uma com seis aberturas por pavimento, e uma seccionada pela circulação vertical, com apenas duas aberturas por pavimento. As áreas totais, bem como a área de abertura e opaca de cada fachada estão detalhadas na Tabela 3.1.

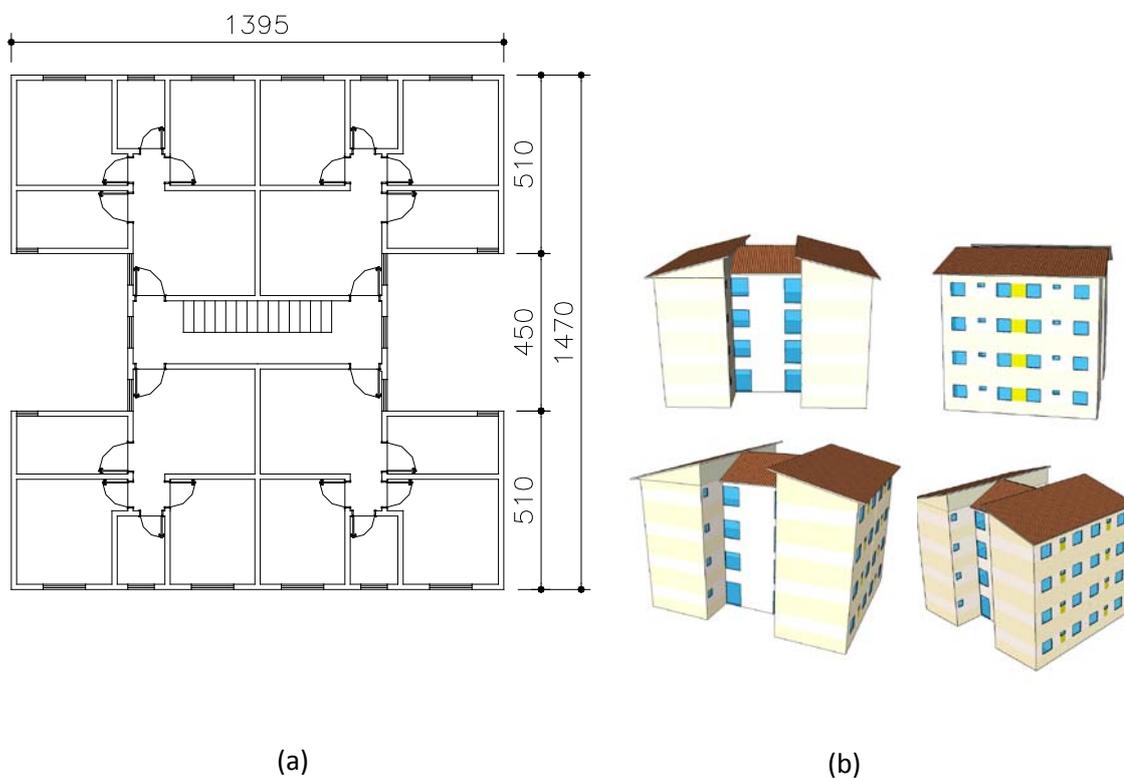


Figura 3.2 - Projeto adotado: (a) Planta do pavimento típico e (b) perspectivas.

Tabela 3.1 - Fachadas da edificação analisada.

Fachada 1	Fachada 2
6 aberturas	2 aberturas
Área total= 13,95m x 2,80m x 4 = 156,24 m ²	Área total= 5,10m x 2,00m x 2,80m x 4 = 114,24m ²
Área de aberturas = (4m x 1,20m x 1,00m + 2m x 0,60m x 0,75m)*4 = 22,80 m ²	Área de aberturas =(2,00m x 0,90m x 2,00m)*4 = 3,60 m ²
Área opaca = 152,64m ²	Área opaca = 91,44 m ²
	
O volume de ar considerado foi de 1593,65 m ³ (10,2m x 13,95m x 2,80m x 4)	

Para fazer-se uma primeira análise, serão utilizados seis módulos, que comparam os blocos estruturais mais comumente encontrados no mercado (M15 e M20), com tipos de revestimento diferenciados, indicados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Módulos adotados.

	MÓDULO 1	MODULO 2	MÓDULO 3	MÓDULO 4	MÓDULO 5	MÓDULO 6
BLOCO ESTRUTURAL	M15	M20	M15	M20	M15	M20
REVEST. EXTERNO	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 1 cm	ARGAMASSA 1 cm
REVEST. INTERNO	GESSO 0,5 cm	GESSO 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 1 cm	ARGAMASSA 1 cm

Em cada módulo foram analisados oito casos, variando-se os materiais dos blocos comumente encontrados no mercado (concreto vazado, cerâmico vazado, cerâmico maciço e concreto celular) e a orientação das fachadas (ver Tabela 3.3). É importante lembrar que nos estudos foram avaliados apenas a área útil dos apartamentos, desconsiderando-se a área de circulação horizontal e vertical do edifício.

Tabela 3.3 - Casos analisados em cada módulo.

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
ORIENTAÇÃO				
MATERIAL DO BLOCO	CONCRETO VAZADO	CONCRETO VAZADO	CERÂMICO VAZADO	CERÂMICO VAZADO
	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8
ORIENTAÇÃO				
MATERIAL DO BLOCO	CERÂMICO MACIÇO	CERÂMICO MACIÇO	CONCRETO CELULAR	CONCRETO CELULAR

4. INTEGRAÇÃO ENTRE PROJETOS

Tão antigo quanto a história das construções, o projeto nos primórdios da humanidade até a revolução industrial era considerado uma atividade junto ao processo de construir, sendo posteriormente divididas as atividades em etapa de projeto arquitetônico e modo de construção, ficando a primeira a cargo do arquiteto, e a segunda, do engenheiro (NIEMEIEYER, 1986).

O Projeto Arquitetônico é o primeiro esboço do edifício a ser construído. Desta maneira, apresenta fundamental importância no processo construtivo, pois nele se basearão os demais projetos envolvidos, como o estrutural, o hidráulico e o elétrico. Cabe ao arquiteto definir as características da edificação tanto estéticas quanto funcionais. É ele o definidor, juntamente com os profissionais específicos, do sistema estrutural e construtivo, da disposição de tubulação elétrica e hidráulica, do layout possível de mobiliário, do conforto térmico, entre outros (fig.4.1).

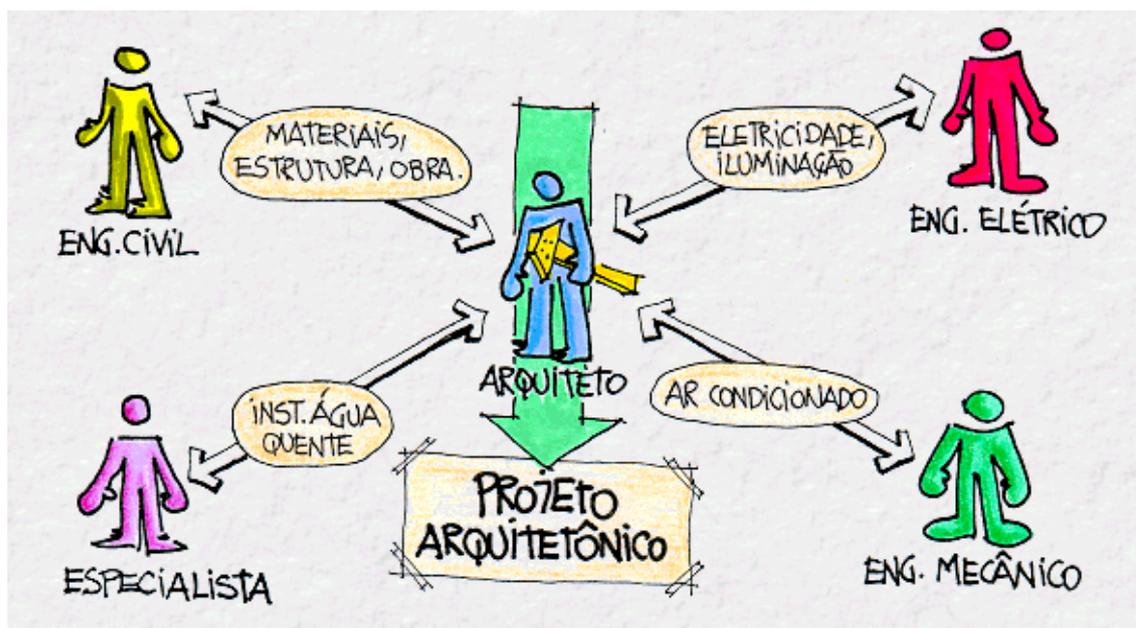


Figura 4.1 - O projeto arquitetônico como base para os demais projetos (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997).

4.1 Coordenação de Projetos e Racionalização da Construção

A Indústria da Construção Civil tem passado por uma grande revolução, com novos materiais e tecnologias disponíveis no mercado. Aliado a isso, o consumidor aprendeu a reivindicar direitos e qualidade da obra e, por conseguinte, do empreendimento entregue.

O atual cenário mundial, de crise econômica e de *boom* na construção civil no Brasil, com a facilidade de financiamentos, requer uma análise criteriosa do mercado e do projeto a ser executado, visando reduzir os custos e aumentar a qualidade.

Fabricio & Melhado (1998) destacam a implantação de programas de qualidade e produtividade e a obtenção de certificados de garantia de qualidade, principalmente o ISO 9002 (Sistemas da Qualidade - Modelo de garantia da qualidade para produção, montagem e prestação de serviço).

De acordo com Machado (1999), o processo construtivo em Alvenaria Estrutural possui plenas condições de suprir as carências de qualidade, de desenvolvimento tecnológico e competitividade exigidas pelo mercado para o crescimento econômico do país. A autora afirma que a implementação da etapa de projetos arquitetônicos neste sistema estrutural, como nova tecnologia se justifica, visto que o projeto é o transmissor dos procedimentos a serem executados e por ter vocação para auxiliar na alavancagem desse sistema; e só terão desempenho satisfatório os que contemplarem ações que visam tanto ao conhecimento tecnológico quanto ao gerenciamento. Continua afirmando que, por diferir dos projetos para sistemas convencionais de construção, os projetos arquitetônicos para alvenaria estrutural devem ter alto grau de precisão.

Segundo Franco (1992), comumente se encontram projetos arquitetônicos com baixo nível de detalhamento e incoerência entre suas

partes. Há também alguns procedimentos incorretos no desenvolvimento de projetos arquitetônicos, não seguindo os preceitos vistos anteriormente, fazendo com que haja necessidade de adaptações para que o edifício possa ser erguido utilizando o sistema em alvenaria estrutural.

O projeto arquitetônico possui influência decisiva na exequibilidade da obra e determinação do desempenho do ambiente construído (RAUBER, 2005), visto que nesta fase são definidas as características da edificação, bem como considerados os fatores de qualidade e custos. Segundo Bagatelli (2002), quando há preocupação de projetar para construir, o projeto torna-se uma ferramenta eficaz para a interface projeto-obra, podendo apresentar um bom nível de detalhamento clareza e objetividade.

Em um empreendimento tradicional, o projeto arquitetônico é concebido a partir da demanda e enviado aos devidos profissionais para confecção dos projetos complementares, de modo que cumpram as exigências legais, conforme mostra a figura 4.2.

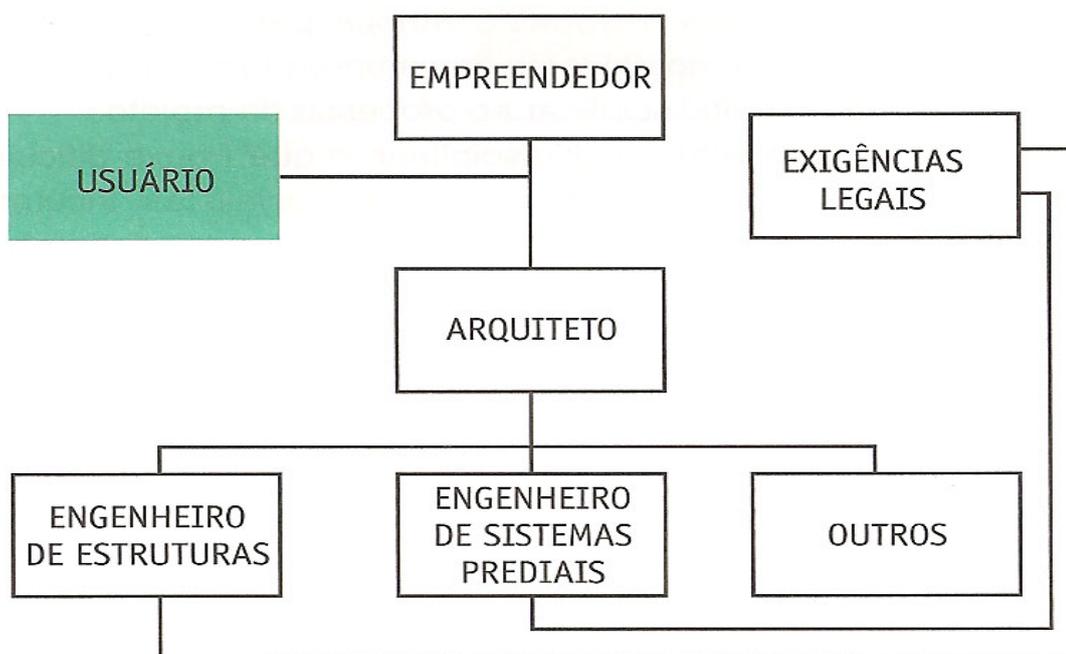


Figura 4.2 - Arranjo tradicional (MELHADO, S. B. et al., 2005).

Quando se trata de um edifício a ser construído em alvenaria estrutural, a concepção dos projetos deve se basear nos conceitos vistos ao longo deste trabalho, de modo que os projetos complementares tenham interação com o projeto arquitetônico, complementado uns aos outros e resolvidos em uma equipe multidisciplinar, conforme figura 4.3.

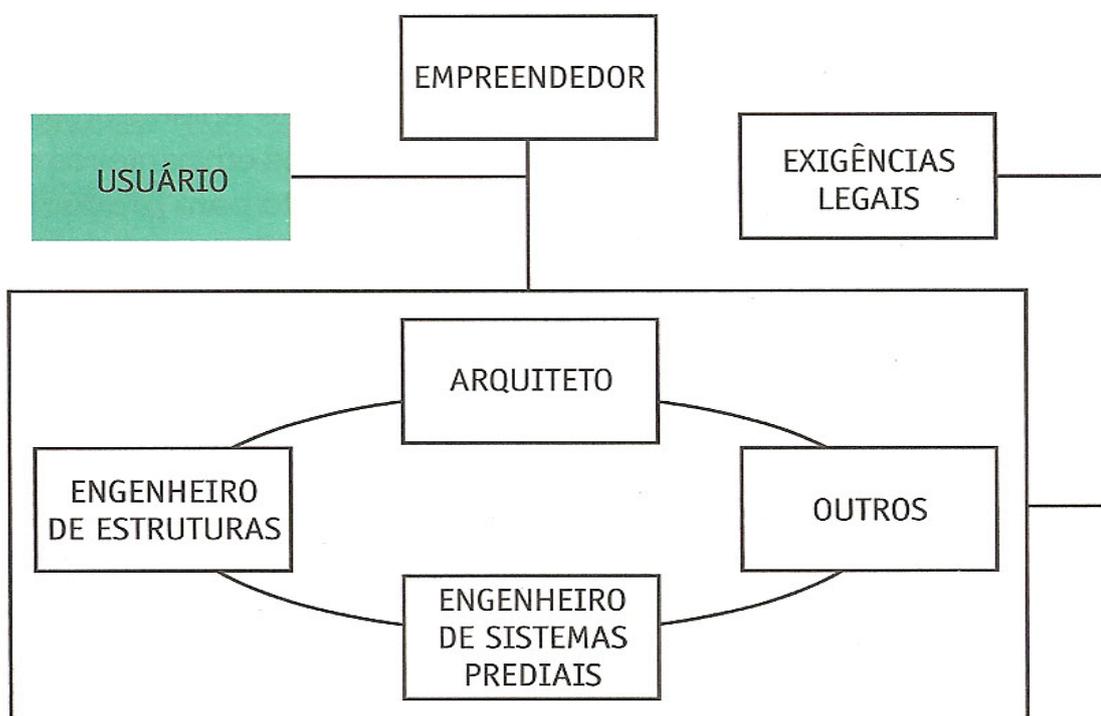


Figura 4.3 - Sistema multidisciplinar (MELHADO, S. B. et al., 2005).

Vistos esses fatores, é interessante lembrar que, conforme explica Rauber (2005), ao analisar a participação do custo do projeto no empreendimento imobiliário como um todo, sua representação é muito pequena como parte da atividade de construir. Desta forma, o investimento em um projeto bem detalhado e bem resolvido quanto à interface entre os sistemas resulta em pequeno investimento com diminuição de custos futuros.

Um projeto mal detalhado e sem as informações necessárias para o construtor e calculista estrutural compromete a construção do edifício, visto que podem ser necessárias alterações posteriores, com decisões com relação a detalhes construtivos delegadas aos próprios executores (RAUBER, 2005). Messeguer (1991) alerta que a maioria dos problemas patológicos (ou não conformidades) constatados ao longo da vida útil de um edifício tem origem em falhas de projeto.

Sendo assim, a racionalização e a compatibilização de projetos é um requisito fundamental para a elaboração de projetos em alvenaria estrutural, e deste modo, viabiliza as vantagens proporcionadas pelo sistema (MELHADO, 1999). Um sistema construtivo racionalizado, quando bem aplicado, se traduz em maior rapidez, facilidade e qualidade ao processo de execução, e, conseqüentemente, maior desempenho do ambiente construído (RAUBER, 2005).

Como já foi explanado neste trabalho, para um bom projeto para o sistema de alvenaria estrutural mostrar-se como sistema racionalizado de construção, deve apresentar integração com os demais projetos, exigindo um maior nível de detalhamento e coerência.

No projeto de construções com esse processo estrutural, segundo Parsekian & Furlan Junior (2003), por não se permitir quebra das paredes estruturais, deve haver complexidade no detalhamento das paredes e compatibilização entre projetos, sendo possível o projeto estrutural ser resolvido somente após se definir a modulação das paredes e a soluções das instalações. Para os autores, o projeto arquitetônico para ser construído em alvenaria estrutural deve ser racionalizado, ou seja, apresentar os mais variados detalhes executivos resolvidos, com forte interação com os diversos projetos complementares e com a preocupação em resolver as interferências entre eles, o que demanda integração entre todos os projetistas. Afirmam ainda que

algumas informações são imprescindíveis para a elaboração do projeto arquitetônico, devendo ser resolvidas em conjunto entre as equipes de engenheiros e arquitetos. Elas são: o tipo de fundação, o tipo de bloco, a modulação, definição de posição de portas, janelas e de paredes não estruturais, tipo de escadas, reservatórios de água, as instalações elétricas, hidráulicas, de condicionamento de ar entre outras, o tipo de laje, contrapiso e rebaixos.

O modo com que o fluxo de informações se faz entre a equipe de projeto é o primeiro passo para que se tenha como resultado final um projeto compatível e racionalizado (OHASHI, 2001).

Rauber (2005) afirma que compatibilizar projetos é “estudar a maneira de todos os projetos coexistirem harmonicamente na edificação, fazendo com que todas as soluções se encaixem perfeitamente na construção”. Conforme dito por Melhado (2005), a competição tecnológica tornou a gestão de qualidade e a ênfase na busca de produtividade e competitividade elementos necessários para a sobrevivência das empresas, tendo em vista a dinâmica crescente de rápidas transformações.

A racionalização da construção com a compatibilização dos projetos garante a qualidade do processo de projeto e construtivo, a qualidade e a produtividade da obra, bem como viabiliza o uso de métodos, técnicas e soluções inovadoras. Ao final, pode-se compensar o aumento do custo de mão-de-obra especializada e, sobretudo, satisfazer a exigência dos compradores.

A coordenação de projetos, segundo Franco (1992), tem por objetivo garantir a comunicação dos participantes do projeto, bem como de todos os envolvidos no empreendimento. Ainda segundo o autor, um projeto elaborado por uma equipe multidisciplinar garantirá essa comunicação durante todas as

etapas, e assegurará uma maior coerência entre o projeto e o objeto construído, com as interfaces entre as partes do projeto bem resolvidas.

4.2 Qualidade do Projeto

A qualidade de um projeto está intimamente ligada aos cuidados relativos aos insumos utilizados no processo de produção, nos materiais utilizados, na mão-de-obra e controle dos serviços contratados. Projetos com erros e lacunas entregues nas obras geram perdas de eficiência e prejuízos (não conformidades, por exemplo), conforme afirma Melhado (2005).

Melhado (2005) coloca que os erros de projeto geram dificuldades para todos os demais setores envolvidos no processo, além de prejuízos financeiros, desperdícios e reflexos negativos no produto final.

A qualidade desde a concepção do projeto confere ganhos e reduz custos quando comparados com projetos que sofrerão alterações posteriores a essa fase. Na fase de projeto, se podem antecipar e solucionar pontos críticos para a implementação de inovações. Sendo bem detalhado, podemos também planejar e programar a obra de maneira mais eficiente, bem como fazer um melhor controle de qualidade de materiais e serviços.

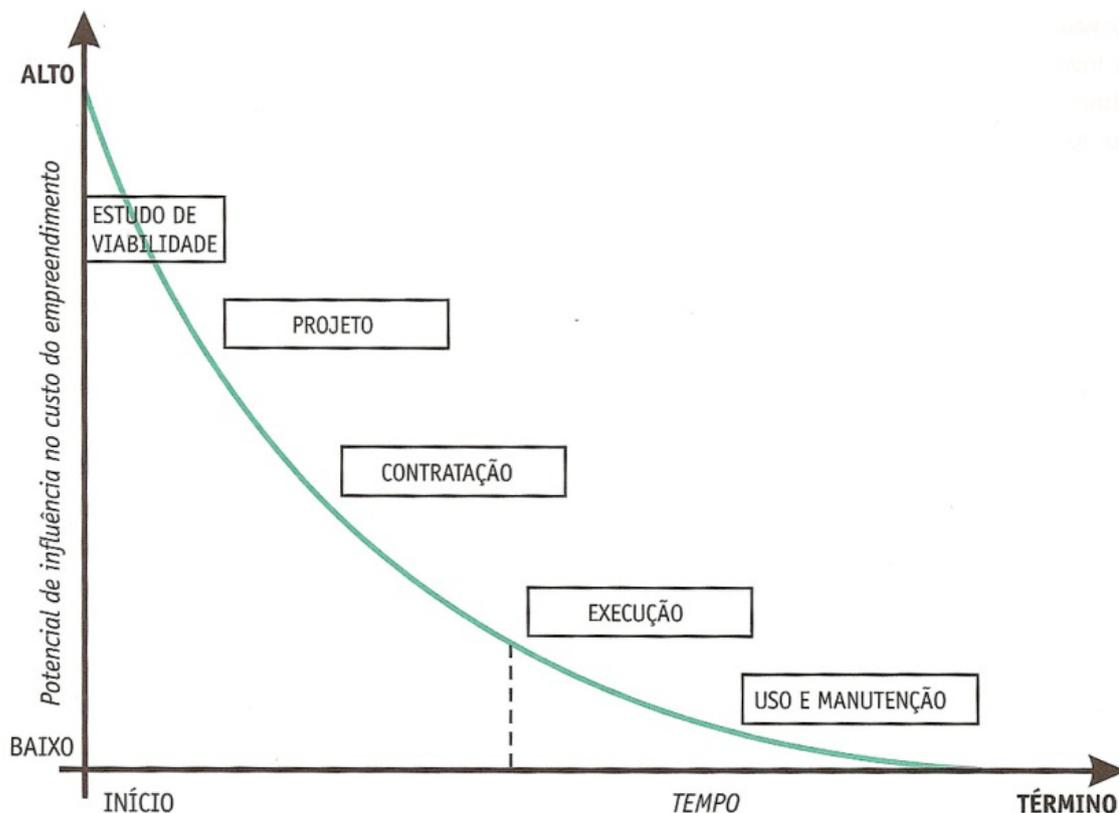


Figura 4.4 - Potencial de Influência no custo final de um empreendimento de edifício e suas fases (CII, 1987 apud MELHADO,2005).

Analisando a Figura 4.4, um gráfico elaborado pelo “Construction Industry Institute”, pode-se verificar que o potencial de custo de uma mudança em fase de execução tem menor valor final do que o de uma mudança na fase de projeto. De acordo com o gráfico da Figura 4.5, tem-se que a chance de reduzir o número de falhas é menor nas fases do estudo de viabilidade e concepção do projeto, fase em que o custo de mudanças também é menor, e onde se tem o menor investimento financeiro no empreendimento (Melhado, 2005).

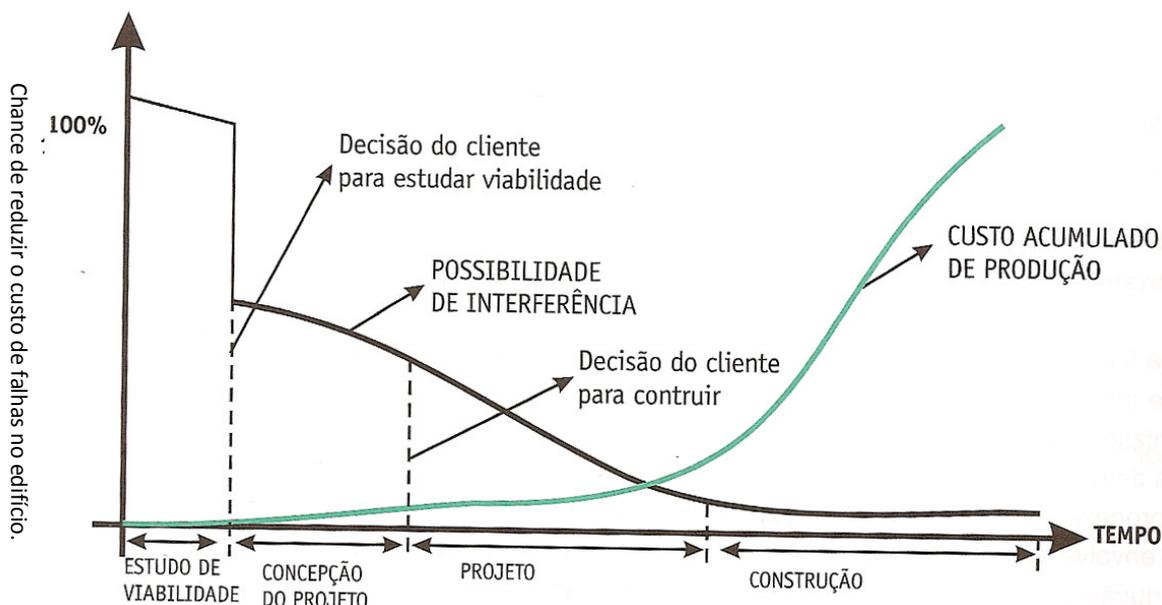


Figura 4.5 - Chance de reduzir o custo de falhas do edifício em relação ao avanço do empreendimento (HAMMARLUND; JOSEPHSON,1992 apud MELHADO,2005).

4.3 Elaboração de um projeto otimizado em Alvenaria Estrutural

Ao elaborar um novo projeto, o arquiteto deve consultar qual o sistema construtivo que o empreendedor ou a equipe construtora deseja adotar. Caso a opção seja a Alvenaria Estrutural, o arquiteto e a equipe de projeto devem escolher o tipo de bloco a ser utilizado e analisar o escopo do projeto, as condicionantes climáticas do local de construção e o orçamento disponível. O próximo passo é escolher a modulação e a família de blocos que será adotada.

A equipe deve elaborar um pré-projeto onde estarão contempladas todas as premissas do programa da edificação, e que esteja dentro das

condicionantes da legislação vigente no local de construção. Esse pré-projeto deve ser baseado na modulação escolhida anteriormente.

Em uma terceira etapa, devem ser definidas as paredes que serão estruturais, os locais dos shafts, paredes de vedação e passagem de tubulações. As paredes estruturais devem então ser “montadas” com os blocos, detalhando primeira e segunda fiadas, fazendo então a conferência para que não haja quebra dos blocos e que seja feita a amarração direta no maior número possível de encontros entre as paredes.

Nesta fase de conferência, as mudanças em projeto são menos onerosas, e demandam apenas ajustes para que o projeto executivo mantenha as características definidas no pré-projeto. É interessante que o arquiteto faça esses ajustes e defina todo o sistema estrutural em conjunto com a equipe antes de elaborar o projeto executivo.

Um bom projeto arquitetônico para a alvenaria estrutural deve conter um nível alto de detalhamento da estrutura, ou seja, das paredes estruturais. Desta maneira é desejável que se faça o detalhamento não só em planta, mas também das elevações. O arquiteto e toda a equipe de projetos devem definir a utilização a passagem de canalização horizontal e vertical nas paredes, a altura das peças sanitárias, localização vertical das tomadas, arandelas e interruptores, de modo a não quebrar os blocos, e, se for o caso, fazendo uso de blocos especiais para cada caso. Esses detalhes devem estar presentes nas elevações de cada parede, onde serão especificados cada tipo de bloco e de solução arquitetônica.

As paredes do projeto arquitetônico estarão, assim, totalmente detalhadas para que se encaixem perfeitamente os projetos complementares e para que a estrutura seja calculada, com o menor número de alterações possíveis no projeto original. Caso haja paredes rebatidas em projeto, é

recomendado que haja o desenho detalhado e separado dessas paredes, para melhor compreensão dos construtores.

O projeto arquitetônico para a execução bem como o detalhamento das paredes devem se entregues para o construtor na escala 1:25, na qual todos os pormenores podem ser observados com a exatidão necessária.

4.4 Fundação, Pilotis e Garagens

O tipo de fundação a ser utilizado dependerá da altura da edificação proposta, da presença ou não de pilotis, do tipo de solo, do entorno do local construído, do tipo de solo, entre outros.

Quando o apoio da parede é feito continuamente, as tensões se distribuem de maneira praticamente uniforme, não sendo necessárias fundações profundas. Desta forma, os tipos de fundação mais utilizados são as sapatas corridas e o radier.

Se for necessária a presença de pilotis, a fundação deverá ser realizada por estacas ou tubulões, visto que serão os pilares que levarão as cargas oriundas do edifício para o solo (fig. 4.6). Neste modelo, geralmente estarão conjugados dois sistemas estruturais: o concreto armado e alvenaria estrutural. É importante lembrar que existe um efeito que ocorre quando as paredes são apoiadas em vigas comportando-se como um arco atirantado, o chamado Efeito Arco. Esse comportamento muda a forma da transferência de cargas para o apoio, e parte da carga do centro da parede transfere-se para as extremidades, causando um acúmulo de tensões.

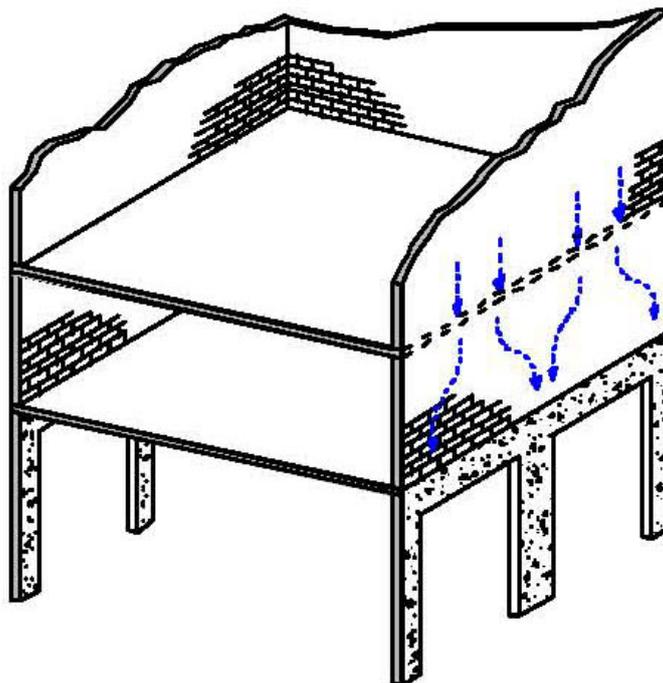


Figura 4.6 - Paredes em Alvenaria Estrutural sobre pilotis em concreto armado (BARBOSA, 2000).

A altura máxima do arco é proporcional à largura do vão entre os apoios da viga (BARBOSA, 2000), sendo desejável que não haja aberturas em seu interior ou interceptando-o. Desta maneira os vãos das vigas não devem ser grandes, para o efeito arco não incidir sobre o local das aberturas (fig. 4.7).

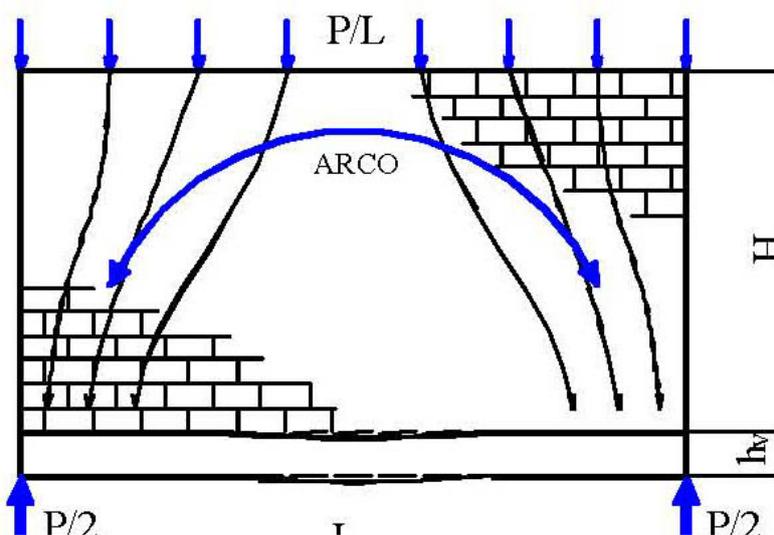


Figura 4.7 - Efeito Arco nas paredes e vigas (BARBOSA, 2000).

4.5 Escolha dos Blocos

A escolha dos blocos deve ser feita considerando diversos fatores, entre eles: modulação adotada, blocos disponíveis na região da construção, custo do bloco e de transporte.

É desejável que antes de iniciar a fase de projeto a modulação seja definida levando em consideração os fatores locais como disponibilidade do produto e custo de transporte, que influenciarão no custo final da obra.

O material do bloco influenciará no cálculo da estrutura, e no desempenho térmico e acústico da edificação, mas não em seu arranjo arquitetônico.

A modulação e a família de blocos escolhidas definirão as dimensões das paredes, visto que deve-se evitar a quebra de blocos e uso de blocos especiais compressores, priorizando a amarração direta. Desta maneira é garantida uma construção racionalizada e otimizada utilizando o sistema em alvenaria estrutural.

4.6 Paredes Não Estruturais

As paredes que não desempenharão função estrutural devem ser definidas na fase de projeto arquitetônico, juntamente ao engenheiro responsável pelo cálculo estrutural, de modo que o funcionamento estrutural não seja prejudicado.

Como não há possibilidade de alterações ou modificações nas paredes que sustentarão o edifício, podem ser previstas paredes de vedação, tornando possível uma alteração posterior no arranjo arquitetônico.

Em alguns casos, as paredes de vedação são necessárias para a passagem de tubulação hidráulica, permitindo quebras e rasgos para a distribuição dos dutos bem como manutenção desse sistema.

Ao projetar paredes não-estruturais, o arquiteto deve lembrar que quanto menos área resistente houver na edificação, menor será a distribuição das cargas. Desta maneira, deve-se projetar o menor número possível de paredes deste tipo, buscando otimizar a estrutura.

4.7 Instalações

Os rasgos verticais e horizontais, em nenhuma hipótese, devem ser feitos em paredes estruturais (PARSEKIAN & FURLAN JUNIOR, 2003). Desta maneira, o arquiteto, junto à sua equipe, deve prever as instalações possibilitando manutenção ao longo da vida útil do edifício sem abalá-lo estruturalmente.

Para o sistema hidráulico, recomenda-se o uso de shafts (fig. 4.8), que é um vazio na laje por onde passam os dutos, podendo ser fechado por alvenaria de vedação ou placas de revestimento. Dos shafts a canalização deve percorrer paredes não-estruturais, caso seja embutida, por enchimentos ou passada pela laje (sistema pex, ilustrado na fig. 4.9). Nestes casos, recomenda-se o rebaixamento das lajes para proporcionar o desnível adequado ou o uso dos forros nos ambientes.



Figura 4.8 - Shaft Hidráulico.



Figura 4.9 - Tubulação hidráulica sob a laje(sistema pex), sem o forro (SANTOS, 2004).

A passagem vertical dos dutos de fiação elétrica, televisão a cabo, internet e telefones pode ser feita internamente aos blocos, visto que os fios são flexíveis e podem ser removidos dos dutos para a manutenção. Os dutos devem ser colocados entre os blocos, sempre na direção vertical, seguindo os vazios dos blocos que compõem as fiadas sobrepostas. Para a colocação de interruptores é recomendado o uso de blocos especiais cujas caixas são embutidas, não necessitando a quebra do bloco. Quando não for possível o uso desses blocos, é recomendado que as caixas estejam faceando uma junta horizontal, facilitando o corte do bloco. A distribuição horizontal dos dutos deve ser feita na laje, antes da concretagem, ou em nichos de blocos especiais (fig. 4.10).

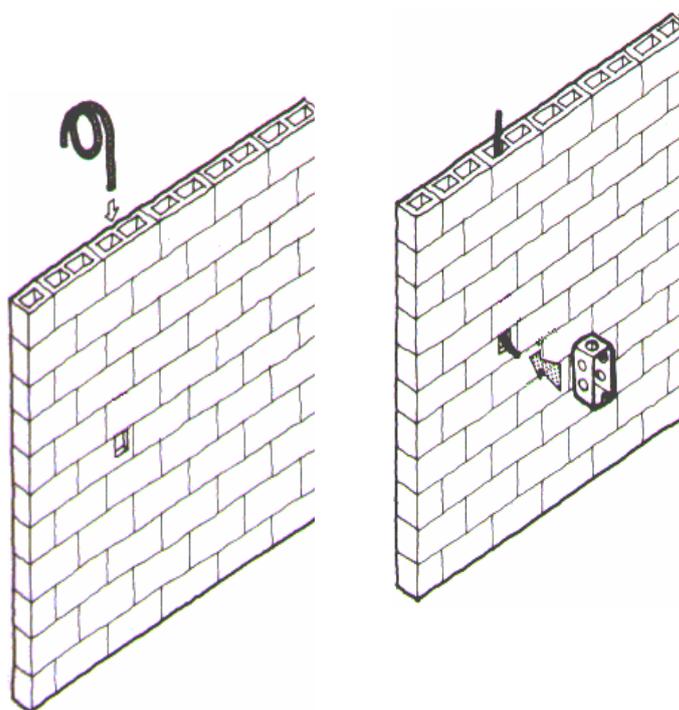


Figura 4.10 - Passagem vertical dos dutos na parede (RAUBER, 2006).

Atualmente no mercado são encontrados blocos estruturais especiais com nichos para a passagem de dutos finos, evitando assim a quebra dos blocos ou o uso de paredes não-estruturais e facilitando a manutenção das instalações (fig. 4.11).



Figura 4.11 - Blocos com nichos para a passagem de tubulações (Cerâmica ABCD).

5. COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

Para projetar em alvenaria estrutural é desejável que o arquiteto compreenda o funcionamento estrutural do processo e suas particularidades frente a esse aspecto.

Neste processo, como já citado, as paredes possuem dupla função: a de vedação e a de sustentação. Como em todo cálculo estrutural são levados em consideração os carregamentos verticais e horizontais que estão aplicados nas paredes, como os carregamentos das lajes e cargas oriundas da ação dos ventos.

Para o cálculo das alvenarias estruturais tem-se, no Brasil, a norma NBR 10837 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a qual regulamenta o cálculo estrutural para alvenarias de concreto. Ainda não está publicada a norma para o cálculo de alvenarias cerâmicas, porém se encontra em fase final de aprovação. Atualmente, os calculistas brasileiros se baseiam em normas internacionais como BS 5628 (*Code of practice for use of masonry*), o Eurocódigo 6, e na própria NBR 10837, fazendo as adaptações necessárias para o cálculo de alvenaria cerâmica (CORRÊA & SILVA, 2008).

Primeiramente, cabe ao arquiteto em conjunto com os responsáveis pelo cálculo estrutural, definir quais paredes serão estruturais, haja visto que as mesmas não poderão ser modificadas, alteradas ou rasgadas.

A alvenaria estrutural para edifícios trabalha, prioritariamente, com esforços de compressão causados pelos carregamentos verticais devido ao seu peso próprio e das lajes que descarregam nas paredes. Os esforços de tração

existentes são provenientes dos momentos causados pela ação dos ventos, pelo desaprumo ou empuxo, etc.

O carregamento vertical provenientes das lajes é resultante da soma do peso próprio, revestimento, contrapiso e das paredes não estruturais apoiadas sobre elas. A carga de utilização também deve ser levada em conta, pois cada tipo de edificação possui um trânsito de pessoas, bem como uma carga fixa de mobiliário e objetos. No cálculo das lajes deve ser considerado o tipo de armadura: em uma ou duas direções.

Em edificações, as ações horizontais são causadas pelos ventos e pelo desaprumo, e variam de acordo com a altura do pavimento da edificação e com sua implantação. Quanto mais alto o pavimento, maior a ação, e maior a tensão causada. Da mesma maneira, quanto mais deserta a vizinhança, ou quanto maior a altitude em relação ao entorno, maior será a força do vento sobre o prédio (fig. 5.1).

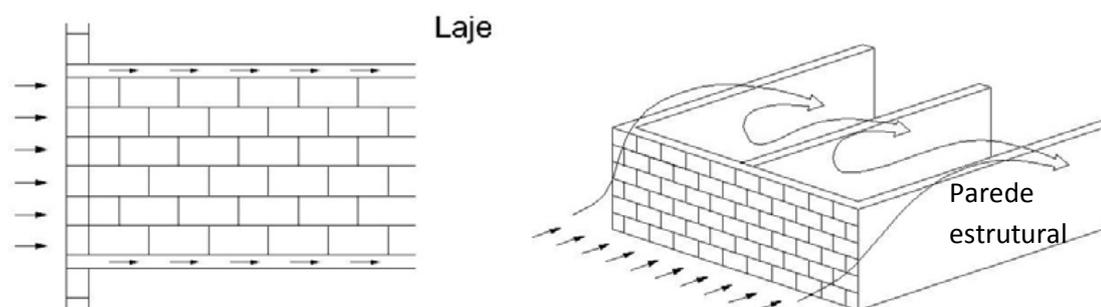
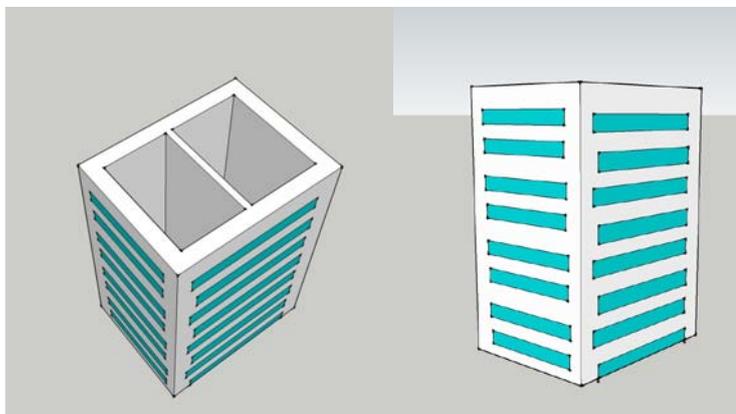


Figura 5.1 - Transferência de ação horizontal para as paredes (DUARTE, 1999).

Ao se tratar de paredes e núcleos estruturais, estas podem ser comparadas com grandes vigas em balanço engastadas nas fundações (VASCONCELOS FILHO, 2007), conforme ilustrado na figura 5.2. Desta maneira, é considerada a seção das paredes do pavimento como a parte resistente da viga em questão. Quanto maior a área resistente interna com uma mesma

dimensão externa, mais rigidez ela apresenta. Do mesmo modo, quanto mais afastada do centro de massa a porção de área, mais resistente será às cargas horizontais e maior será a estabilidade lateral.



5.2 - Edifício comparado com grandes vigas estruturais engastadas e a seção das paredes do pavimento como a parte resistente da vida, conforme Vasconcelos Filho (2007).

Quando a disposição da parte resistente acontece de maneira a aumentar a rigidez da edificação, há a possibilidade de construir edifícios mais altos sem que haja grandes deformações e grandes tensões de tração causadas pelas cargas horizontais, como o edifício Felice Condomínio Club, localizado em Curitiba, que possui 19 pavimentos em alvenaria estrutural (fig. 5.3). No Brasil, a NBR 10837 (ABNT, 1989) recomenda que somente a partir de cinco pavimentos seja considerada a ação oriunda dos ventos.



Figura 5.3 - Felice Condomínio Club, localizado em Curitiba (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2009)

5.1 Esbeltez

A esbeltez indica uma relação entre parte resistente e altura. Quanto mais alto um edifício, maior a esbeltez, e quanto mais área resistente, menor a esbeltez.

O conceito de esbeltez de uma parede se faz pela relação entre a sua altura efetiva relacionado com sua largura efetiva. A largura efetiva é a espessura da parede sem o revestimento. A altura efetiva é definida, segundo a NBR 10837 por:

$h_{ef} = h$, se existir travamento no topo e na base da parede;

$h_{ef} = 2h$, se a extremidade superior da parede estiver livre.

Onde **h_{ef}** é a altura efetiva e **h** é a altura da parede.

O coeficiente máximo de esbeltez para paredes de alvenaria estrutural não armada é 20. Desta maneira, tem-se para modulação M15 a altura máxima de 2,80m para as paredes, e para modulação M20 a altura máxima de 3,80m, conforme a norma brasileira vigente.

5.2 Arranjo das paredes

As paredes são os elementos que transmitirão as cargas que agem sobre a edificação ao solo. Para trabalhar como um único elemento é necessária a interação dos blocos nas paredes que irá assegurar a distribuição de cargas, através da amarração direta. Desta maneira, devem-se evitar juntas a prumo para que haja a distribuição e que esta funcione como um único bloco resistente. De forma análoga, as paredes adjacentes devem interagir, de modo que a mais carregada se alivie na outra, solidarizando os esforços.

Intercalando os blocos, a parede formada adquire maior resistência ao cisalhamento, contribuindo, também, para a resistência à tração quando solicitada pelas ações horizontais.

O desempenho estrutural das paredes de alvenaria está ligado intimamente à amarração das paredes, quando a distribuição das tensões ocorre aumentando a capacidade resistente individual dos painéis e no conjunto da edificação (FRANCO 1992).

O partido arquitetônico deve procurar a simetria, a fim de evitar efeitos de torção que possam gerar tensões de tração indesejáveis (HENDRY apud MACHADO, 1999).

O arranjo das paredes é o grande definidor da estabilidade lateral da edificação. Quando o partido é simétrico, o centro de massa da distribuição das paredes coincide com o centro de torção, evitando tensões de tração maiores.

Os arranjos das paredes estruturais podem ser divididos em três categorias em termos didáticos (HENRY apud RAMALHO & CORRÊA):

- **Sistema celular:** quando as paredes internas e externas formam células resistentes, pois possuem as lajes apoiadas nas duas direções. A figura 5.4 ilustra esse sistema.

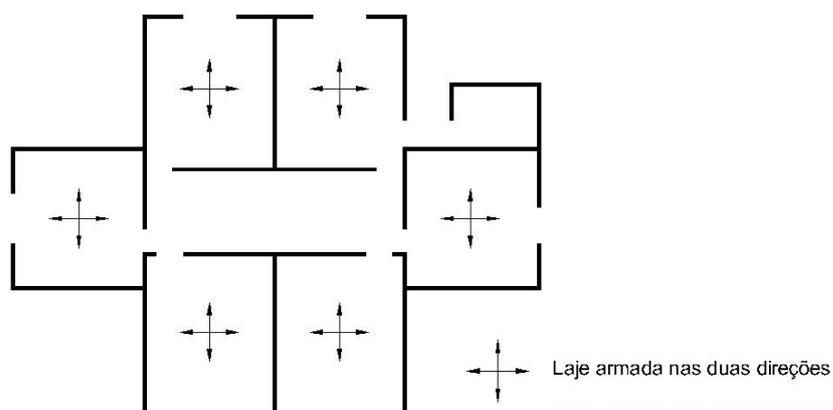


Figura 5.4 - Exemplo de sistema celular (MACHADO, 1999)

- **Sistemas de paredes transversais:** Quando somente as paredes internas são estruturais, sendo as lajes apoiadas em uma só direção, garantindo a estabilidade lateral nesta direção, e na outra direção por paredes de um corredor central. Esse tipo de arranjo pode ser simples (fig. 5.5 a) ou duplo (fig. 5.5 b).

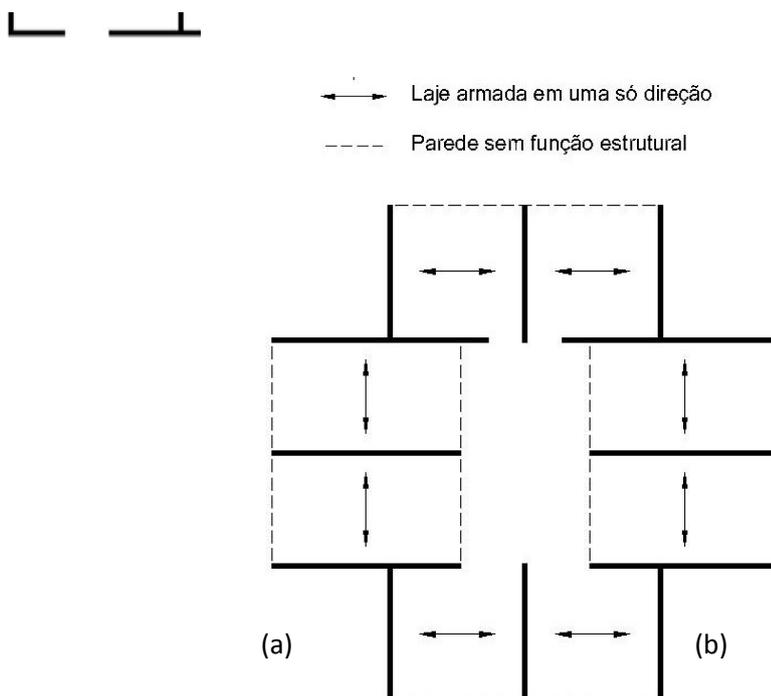


Figura 5.5 - Sistemas de parede transversais simples (a) e duplo (b) (MACHADO, 1999).

- **Sistema complexo:** Quando caixas de escada e elevadores são localizados centralmente na edificação promovendo a estabilidade lateral. As paredes adjacentes a essas caixas transmitem as cargas dos pavimentos, e as externas não necessitam ser estruturais, conforme indicado na figura 5.6.

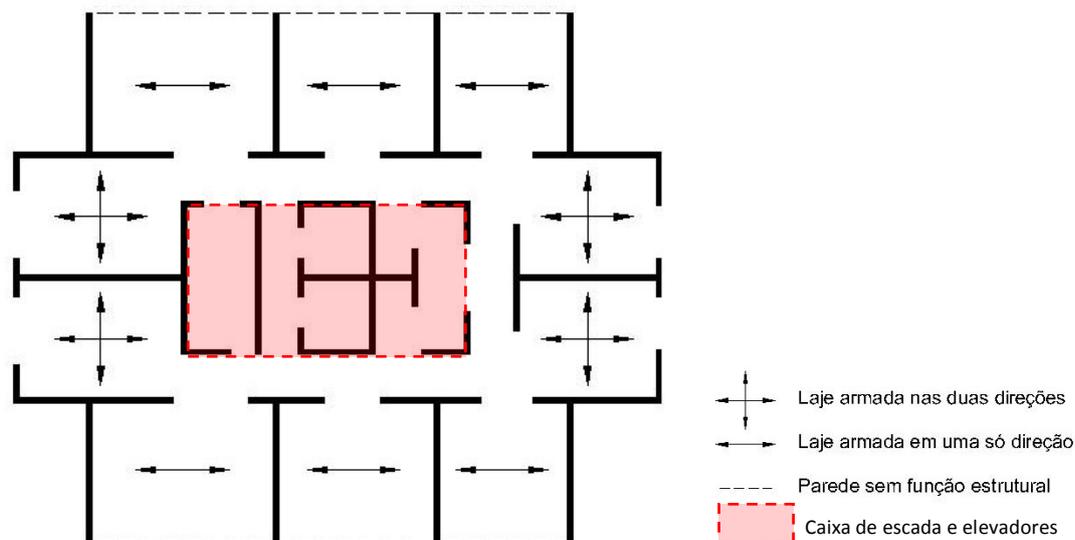


Figura 5.6 - Sistema complexo (MACHADO, 1999).

A forma e volume do prédio devem ser observados, pois eles determinarão a disposição das paredes estruturais. Geralmente esses aspectos são condicionados pelo tipo de uso da edificação, mas podem e devem ser trabalhados em um partido arquitetônico funcional, inteligente e otimizado estruturalmente.

É importante salientar que o definidor da estrutura dos projetos de alvenaria estrutural é o arquiteto. Assim, ele deve conceber um projeto modulado, a fim de possibilitar as devidas amarrações, bem como um projeto buscando a simetria, evitando os esforços de torção. A forma da edificação é livre, mas é preciso lembrar que ela é a principal definidora do comportamento estrutural. Quanto maior a área resistente, menor a tensão gerada.

Para o lançamento destas paredes, o arquiteto precisa ficar atento a outras condicionantes como os projetos complementares. As paredes estruturais não podem ser removidas, modificadas e/ou rasgadas, e, sendo assim, é recomendado que os sistemas hidráulico e elétrico não sejam embutidos nas mesmas.

Quanto mais robusta a forma, mais resistente o edifício será aos esforços horizontais, diminuindo assim os esforços de tração não desejados às paredes em alvenaria estrutural. Drysdale et al. apud Duarte (1999), relaciona a altura dos edifícios à sua robustez, o que é evidenciado na figura 5.7. Nas edificações mais baixas a influência do vento é menor em relação às mais altas, que possuem maior superfície de contato.

A forma da seção do edifício e a distribuição das paredes resistentes implicará em resistências à torções maiores ou menores, visto que são as características geométricas da seção resistente que garantem essa característica do edifício, pois depende de seu momento de inércia.

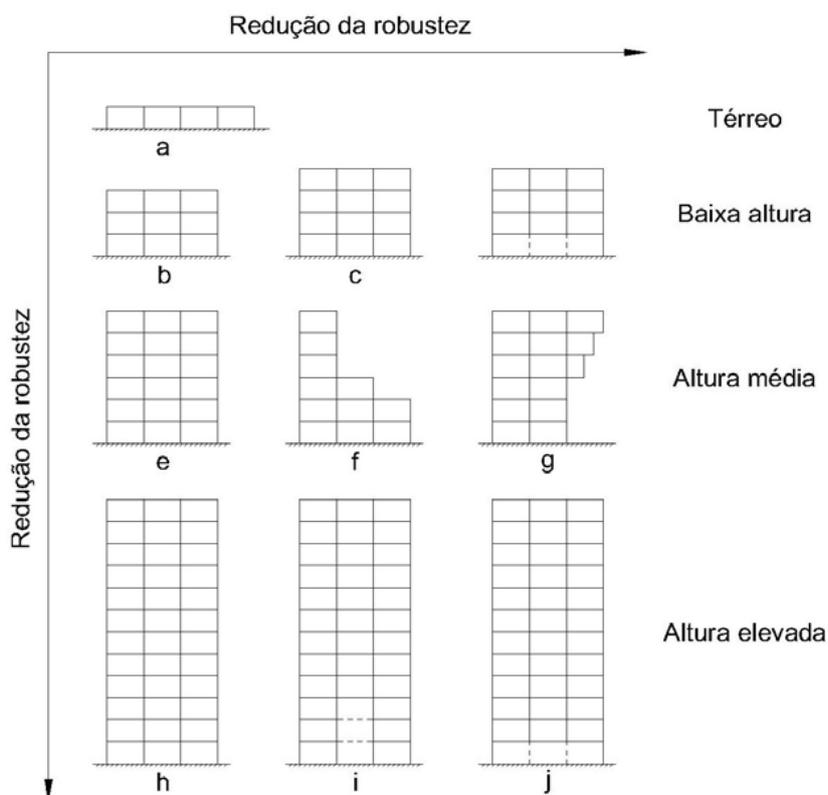


Figura 5.7 - Altura do edifício e sua robustez (DRYSDALE et al, 1994 apud DUARTE, 1999).

Em alguns projetos, o arquiteto usa do recurso dos balanços para construção de sacadas, marquises e outros elementos na composição das fachadas dos edifícios. Nos projetos em alvenaria estrutural os balanços são permitidos, desde que seja especificado e corretamente trabalhado para que não haja formação de fissuras posteriores em pontos em que as cargas estarão concentradas. Desta maneira, as peças que irão sustentar a laje em balanço devem ser dimensionadas corretamente para que não haja concentração de cargas em um ponto da alvenaria. Vigas submetidas à torção e ancoragens (fig. 5.8 e 5.9) são indicadas por Rauber (2005) .

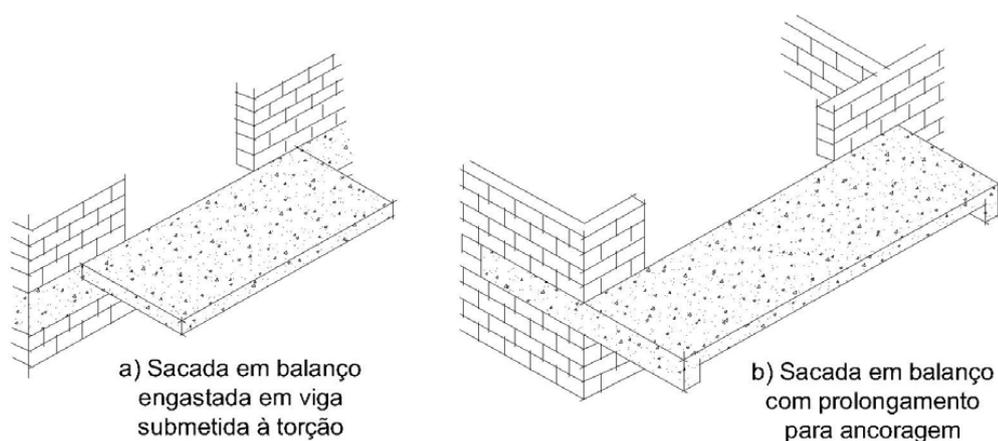


Figura 5.8 - Estruturas em balanço (RAUBER, 2005).



Figura 5.9 - Sacada ancorada em balanço.

Rosso apud Machado (1999) recomenda o uso de fiadas avançadas e que sejam apoiadas somente até a porção que se garanta o equilíbrio, adotando, se possível, uma cinta de amarração na última fiada ou preenchendo as juntas com ferro evitando que o conjunto vire, ficando parcialmente em balanço. Rauber (2005) sugere também que as sacadas sejam colocadas em nichos, internas à projeção do edifício, de maneira a apoiar a laje na alvenaria como todo em três lados, conforme ilustrado na fig. 6.9.

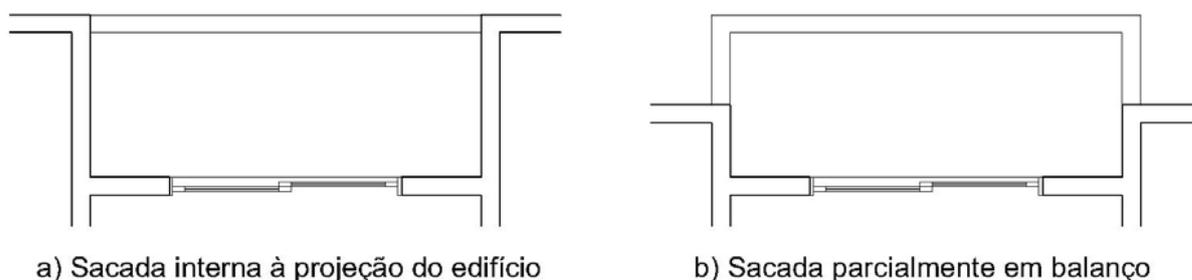


Figura 5.10 - (a) Sacada interna à projeção do edifício e (b) parcialmente em balanço (RAUBER, 2005).

5.4 O Funcionamento Estrutural e Resistência da Parede

As paredes de alvenaria estrutural, compostas por blocos ou tijolos, possuem uma boa resistência à compressão, mas são fracas ao serem solicitadas por tração.

Desta maneira, o principal parâmetro estrutural para a escolha do bloco é a sua resistência à compressão. Como componente de maiores dimensões do sistema é o elemento parede, quanto maior a resistência do bloco, maior a resistência da parede.

O conceito de "eficiência" de uma parede relaciona a sua resistência final com a resistência do bloco que a compõe. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), quando mais resistente o bloco, menor sua eficiência, visto que sua resistência é inversamente proporcional à eficiência da parede final. Para os blocos cerâmicos, a eficiência varia entre 20% a 40%, e entre os blocos de concreto a variação é de 50% a 60%. Este valor irá variar, também, conforme a forma da parede.

A NBR 6136 divide os blocos estruturais de concreto em duas classes:

- AE: "para uso geral, como em paredes externas acima ou abaixo do nível do solo, que podem estar expostas à umidade ou intempéries, e que não recebem revestimento de argamassa de cimento" (ABNT, 1994).
- BE: "limitada ao uso acima do nível do solo, em paredes externas com revestimento de argamassa de cimento, para proteção contra intempéries e em paredes não expostas às intempéries" (ABNT, 1994).

Conforme a NBR 15270, os blocos estruturais cerâmicos devem apresentar resistência à compressão acima de 3 mPa e blocos de concreto acima de 4,5 mPa (NBR 6136), para assegurar que as paredes sejam autoportantes, ou paredes estruturais. Para a classe AE a NBR 6136 estabelece limite mínimo de 6 mPa para os blocos de concreto.

A argamassa que compõe as juntas é responsável em conjunto com o bloco pela resistência final, sendo sua espessura e seu traço influentes na resistência das paredes. As juntas em argamassa, além de unir os blocos e uniformizar a distribuição das cargas, absorvem as deformações e impedem a infiltração de água da chuva entre os blocos.

É recomendado pela NBR 10837, que as juntas horizontais de argamassa sejam de 1 cm. Segundo Ramalho e Corrêa, elas devem possuir uma espessura tal que não permitam um bloco tocar a superfície do outro, visto que poderiam provocar uma concentração de tensões indesejada. Da mesma maneira, a junta não deve ser muito espessa, visto que argamassa deve estar confinada entre os blocos para que não se rompa mesmo tendo uma resistência à compressão baixa.

É desejável também que a resistência à compressão da argamassa se apresente com valor entre 70% e 100% da resistência do bloco, para que tenha um desempenho desejável, sem prejudicar a resistência do conjunto.

O preenchimento correto das juntas com a argamassa em toda a parte maciça da face do bloco com a espessura correta é de fundamental importância. Segundo Franco (1987), o mau preenchimento das juntas horizontais causa cerca de 30% de perda da resistência da parede, à compressão (FRANCO, 2009). As juntas verticais, por sua vez, podem ser preenchidas com argamassa ou não. Quando se opta pelo não preenchimento o processo de construção é acelerado e há uma economia considerável de argamassa. Vilaró (2004), afirma que, além disso, a parede apresenta maior capacidade de absorver deformações, e diminuem as chances de haver fissuras e patologias posteriores. Quanto à resistência da parede, o autor comprova em seus estudos que o não preenchimento das juntas verticais não altera significativamente a resistência à compressão ou à tração, porém apresentará cerca de 30% de queda na resistência ao cisalhamento. Visto este fator, a norma de cálculo de alvenarias estruturais de blocos cerâmicos, que está em fase final de aprovação, já recomenda o preenchimento das juntas verticais, assim como na NBR 10837 revisada, que regulamenta o cálculo das alvenarias estruturais em blocos de concreto.

O cisalhamento ocorre nos planos horizontal, vertical e inclinado, e por isso há essa queda de resistência quando não preenchemos as juntas verticais. A resistência ao cisalhamento é quem garante a uniformização das cargas nas paredes, aliviando as paredes mais carregadas nas menos solicitadas. Desta maneira, é necessário avaliar o cálculo estrutural antes de decidir pelo não preenchimento das juntas verticais.

O entrelaçamento dos blocos garante à parede uma uniformidade e aumenta a resistência ao cisalhamento nos planos tocantes às superfícies dos blocos. É de fundamental importância o uso da argamassa no traço adequado para que esta possua a relação desejada de resistência à compressão com a do bloco utilizado.

Quando se faz necessário um aumento da resistência à compressão, pode-se grautear os blocos, ou seja, preenchê-los com o graute (concreto com brita tamanho 0). Para os blocos de concreto, o graute chega a aumentar sua resistência em 100%, visto que o graute se assemelha ao seu material e aumenta em 50% sua área resistente, bem como seu volume. Quanto aos blocos cerâmicos, não se pode prever o resultado da resistência do conjunto por se tratarem de materiais diferentes, mesmo que possuam resistências iguais. A melhor maneira de se prever a resistência de um conjunto é fazer os devidos ensaios, evitando falhas e patologias posteriores.

Para a resistência à compressão, as armaduras são utilizadas somente para casos de compressão localizados, ou quando há uma estrutura esbelta demais. Nesse último caso, a compressão gera a flambagem, ou seja, a perda da estabilidade do edifício gerada pela força de compressão atuante. Novamente referindo à comparação do edifício com uma grande viga engastada feita por Vasconcelos Filho (2007), as seções dessa barra que se encontram paralelas umas às outras, quando submetidas a esforços de compressão “giram em torno dos seus eixos, aproximando-se numa das faces e afastando-se em

outra”, conforme podemos observar na figura 6.10 (REBELLO, 2000). A flambagem de um edifício depende diretamente da facilidade de giro de suas seções, ou seja, seu momento de inércia (que varia com a forma da seção), bem como da elasticidade do material que a compõe.

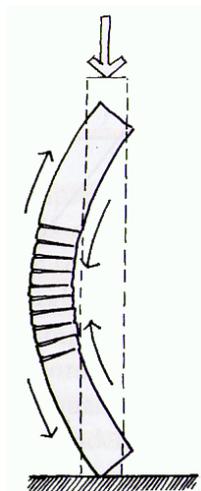


Figura 5.11 - Flambagem em barras (REBELLO, 2000).

A flambagem de um edifício está ligada diretamente à sua esbeltez. Quanto mais esbelto, menor será a carga máxima de compressão que ele resiste sem ocorrer a flambagem.

5.5 Aberturas em Alvenaria Estrutural

A coordenação modular utilizada na concepção e execução dos projetos em alvenaria estrutural, bem como a função estrutural, delimita as dimensões de vãos das aberturas. É necessário que haja compatibilidade entre os vãos e a modulação escolhida, para que não haja a quebra de blocos e para evitar o uso de blocos especiais e preenchimentos em argamassa, que poderiam aumentar o custo final da obra.

Nas aberturas presentes nas paredes, é preciso desviar a carga que há sobre elas para as paredes adjacentes, trabalho executado pelas vergas e contravergas (fig. 5.12). Essas devem ser consideradas no cálculo estrutural e na modulação das paredes, a fim de evitar patologias futuras como fissuras (MAMEDE, 2001).

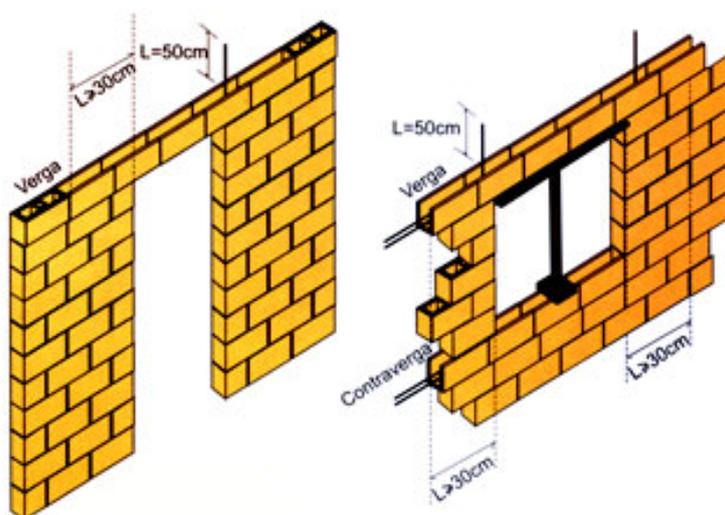


Figura 5.12 - Vergas e contravergas (disponível em www.fkct.com.br).

Nos vãos serão encaixadas as esquadrias, as quais farão o fechamento parcial ou total das aberturas, permitindo a ventilação e iluminação natural dos ambientes internos. As normas da ABNT (1981), NBR 5722 e NBR 5728 recomendam que as esquadrias sejam modulares na altura e largura, bem como que os detalhes modulares devam absorver os problemas se houverem erros de execução na obra, seja no encaixe, montagem ou sobreposições. Infelizmente alguns fabricantes não seguem essas normas. Eickhoff apud Mamede (2005), afirma que alguns fabricantes de esquadrias não o fazem porque são inseguros para fazer o investimento necessário.

As aberturas podem ser divididas em dois grupos: portas e janelas.

As portas são compostas por folha, guarnição e batente. A parte móvel da porta, que faz o fechamento do vão é chamada folha. O batente ou marco é a parte que é fixada à parede e onde a folha é presa pelas dobradiças, bem como se encaixa quando fechada. A guarnição, por sua vez, faz o acabamento entre o batente e a parede, fornecendo um aspecto uniforme.

As especificações para o tamanho do vão a ser deixado entre os blocos, dependerão do tipo de porta utilizada e do material que compõe seus componentes. Essa especificação e a forma de assentamento será dada pelo fabricante da esquadria a ser utilizada.

As esquadrias das janelas geralmente são envidraçadas e com folhas móveis, permitindo a entrada de luz e ventilação natural. Da mesma maneira que as portas, as folhas estão vinculadas a um batente, o qual é fixado no vão da parede.

No mercado são encontradas janelas com folhas de diversos materiais, e de formas de controle de seu fechamento diferente, como basculantes, de correr, de abrir, pivotantes, etc. As produzidas industrialmente estão disponíveis já com acabamento final, pronta para a instalação, sem utilização de contramarco. Há também os chamados caixilhos pré-moldados, um módulo vazado de concreto com a esquadria já fixada e que dispensa o uso de verga em alguns casos, podendo ser colocado na elevação das paredes em alvenaria (fig. 5.13).



Figura 5.13 - Caixilhos pré-moldados (WINDBLOCK, disponível em www.windblock.com.br).

Igualmente às portas, as janelas devem respeitar a modulação adotada. Os dois grupos de vãos necessitam do reforço de vergas que farão, como anteriormente citado, a distribuição das cargas que os blocos acima deles suportam para as paredes adjacentes.

As vergas devem ser cuidadosamente calculadas, para que sejam dimensionadas adequadamente, evitando futuras patologias. O cálculo desta peça estrutural deve ser baseado nas recomendações da NBR 10837 (ABNT, 1989), considerando como carregamento o peso de um triângulo isósceles (ângulos de 45°), do que há sobre ela. Caso haja uma laje esta deverá ser considerada no cálculo. É necessário que as vergas ultrapassem o limite dos vãos, cerca de um módulo dimensionais para cada lado (MAMEDE, 2001), pois as tensões se acumulam nos cantos dos vãos como demonstra a figura 5.14 em uma simulação no programa ANSYS de tensões nos vãos.

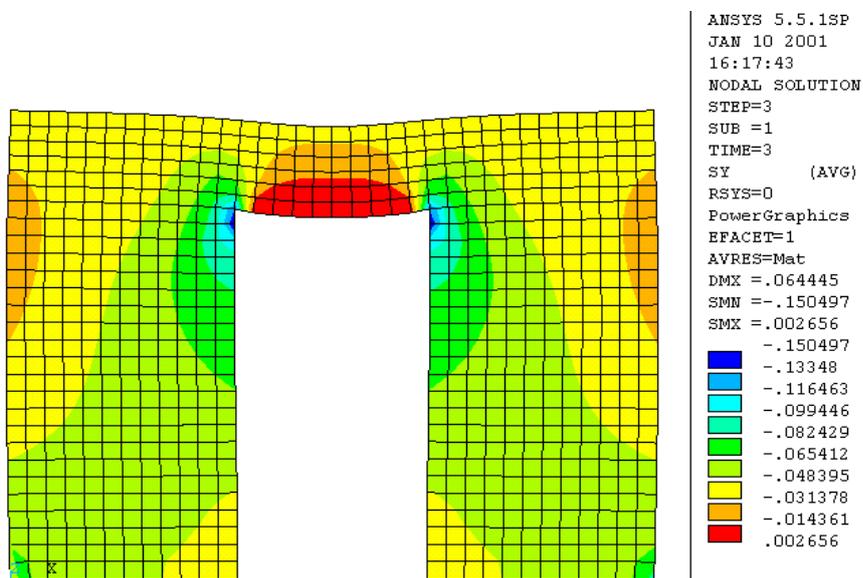


Figura 5.14 - Tensões de compressão em vãos de porta (MAMEDE, 2001).

Nas janelas, há também uma concentração de cargas na parte de baixo, no peitoril, conforme ilustrado na figura 5.15, resultante de simulação de Mamede (2001) de uma parede em alvenaria estrutural com vão de janela. A autora recomenda que, apesar de não apresentar acúmulo de tensões nos

cantos inferiores, deve-se prolongar a contra-verga por cerca de um módulo ou 10cm, pois em sua simulação não considerou a retração da parede.

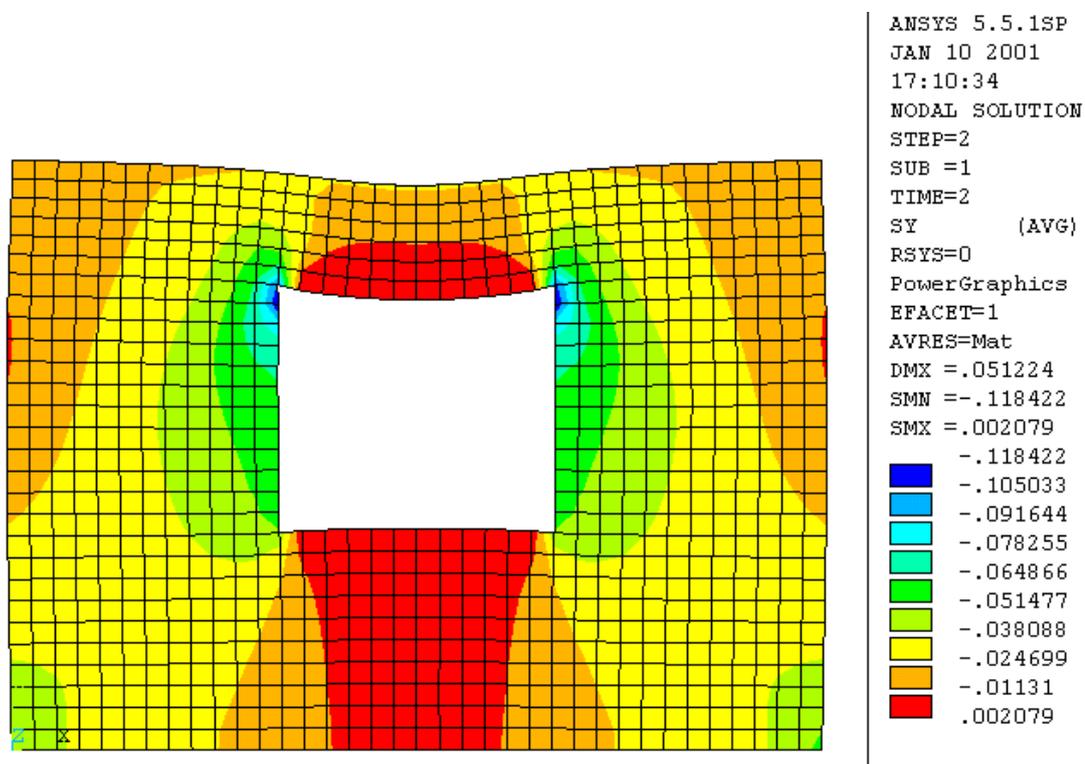


Figura 5.15 - Tensões de compressão em vão de janela(MAMEDE, 2001).

A execução de vergas e contravergas pode ser feita na própria obra, com auxílio de blocos canaleta ou "U", colocando a armadura adequada e preenchendo-os com graute, ou feita em concreto armado com formas. Alternativamente poderão ser usadas vergas e contravergas pré-moldadas (fig. 5.16) in loco ou pré-fabricadas em concreto (fig. 5.17).



Figura 5.16 - Verga pré-moldada na obra (SANTOS ,2004).



Figura 5.17 - Verga pré-fabricada em concreto armado (SANTOS,2004).

Quando há diversas aberturas em uma mesma fachada, com a mesma altura, pode-se utilizar cintas a meia altura como contraverga, ou a própria cinta da laje como verga, evitando paradas desnecessárias durante a execução da alvenaria.

6. MODULAÇÃO

6.1 Componentes do sistema

As partes resistentes da alvenaria estrutural são compostas pelas unidades de alvenaria, ou blocos, e pela junta de argamassa, e que podem conformar vários elementos, entre eles: a parede, as cintas, os pilares e as vigas.

Os blocos podem ser de diversos materiais, sendo os cerâmicos e os de concreto, os mais utilizados. Todos devem ter um controle de qualidade na fabricação, estocagem e no transporte para assegurar sua resistência mecânica bem como suas dimensões externas de paralelepípedo. Podem ser vazados ou maciços, apresentando peso inferior a 50 Kg. Atualmente, há normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 6136 (ABNT, 1989) e NBR 15270 (ABNT, 2005), que regulamentam a produção dos mesmos para serem utilizados para esse fim, sendo a primeira para blocos de concreto (fig. 6.1 a), e a segunda para blocos cerâmicos (fig. 4.1 b).



Figura 6.1 - Blocos Estruturais de concreto (a) e cerâmica (b).

Quando se faz necessário aumentar a área resistente dos blocos ou fixar uma armação (no caso de alvenaria armada) que irá perpassar os blocos, é usado o preenchimento com graute, um concreto fluido feito com agregado miúdo (brita 0), de maneira que possa penetrar nos furos dos blocos e ser adensado com facilidade. Quando há o preenchimento dos blocos com o graute, e é colocada a armadura, o elemento passa a trabalhar de forma semelhante a de uma peça de concreto armado.

A junta de argamassa é um filete de argamassa preparada para este tipo de utilização. Há no mercado argamassas prontas para o uso exclusivo em alvenaria estrutural, mas esta pode ser fabricada em obra respeitando o traço especificado. É a argamassa que vai solidarizar os blocos, fazendo a transferência e uniformização das tensões entre eles, impedir a entrada de vento e água entre as unidades, além de absorver pequenas deformações que venham a ocorrer (RAMALHO & CORRÊA, 2003).

A parede estrutural é o principal elemento formado pelas unidades e juntas de argamassa, de comprimento maior que cinco vezes sua espessura. Quando essa relação é menor a cinco, este elemento é considerado como pilar.

Para fazer a amarração das paredes, ou seja, fazer com que elas trabalhem solidariamente é preciso usar o elemento cinta, que se apoia continuamente sobre elas. As cintas sob a laje são compostas, geralmente, por blocos especiais denominados blocos "J" preenchidos com o graute (fig. 6.2).



Figura 6.2 - Cinta sob laje em blocos "J" grauteados.

Os vãos na alvenaria estrutural são lugares importantes e com os quais se deve ter cuidado. Toda a carga absorvida pela parede acima do vão deve ser transmitida para as laterais, e para isso se usam as vergas e contra-vergas, que podem ser feitas com blocos especiais chamados blocos "U", devidamente grauteados e com armadura, garantindo a uniformidade visual do edifício. Podem também serem utilizadas peças pré-moldadas ou moldadas na construção.

As lajes são elementos laminares, dispostos horizontalmente acima das cintas, que transmitem os esforços do seu plano médio para as paredes. Podem ser pré-moldadas ou moldadas em obra e funcionam como um distribuidor de cargas nos pavimentos para as paredes.

Como se pode notar, os blocos estruturais são os principais constituintes dos elementos do sistema em alvenaria estrutural, o que faz necessário o conhecimento do tipo de bloco a ser utilizado para projetar uma edificação,

bem como dimensionar a estrutura indicando a resistência necessária para que suporte a carga.

Antes de escolher o bloco a ser utilizado, é importante conhecer sobre modulação.

6.2 Modulação

A produção da construção civil, como toda cadeia de produção, visa o maior lucro em menor tempo, aumentando sempre sua produtividade, e sempre de acordo com as normas vigentes. Desta maneira, busca a racionalização da construção, ou seja, a otimização do processo construtivo conforme define Franco (1996). Para tal, é desejável que seja feita uma produção em massa de insumos, de forma padronizada e com controle de qualidade, reduzindo, assim, os custos finais. É interessante também que se tenha no processo baixo nível de perdas de materiais. Sendo assim, a modulação é uma alternativa para suprir essas necessidades de mercado.

Sob o ponto de vista estrutural, a modulação facilita o encaixe dos blocos, possibilitando a uniformização das cargas e, conseqüentemente, otimizando seu funcionamento estrutural.

O módulo, palavra com origem em Latim (*modulu*), significa medida reguladora, ou "quantidade que se toma como unidade de qualquer medida" (FERREIRA, 1999).

A utilização dos módulos nas construções data dos primórdios da humanidade. Os gregos a faziam com o caráter estético (fig. 6.3), os romanos e os antigos japoneses visando o caráter funcional (ROSSO, 1976).

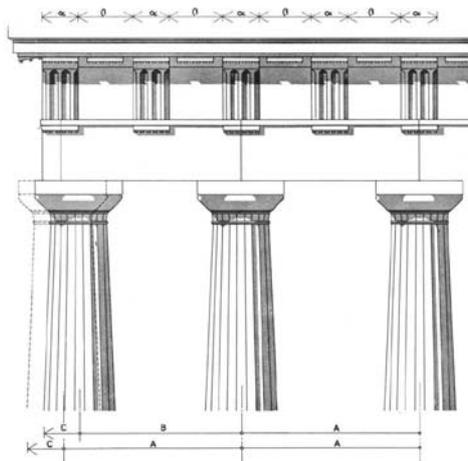


Figura 6.3 - Vãos normais e de esquina na arquitetura grega (NISSEN, 1976)

Os antigos romanos utilizavam a modulação não somente na construção civil, mas também em utilidades domésticas e outros objetos. A coordenação modular estava presente em telhas, cerâmicas, colunas, ladrilhos entre outros, e já levava em consideração o tamanho das juntas e sobreposições (GREVEN & BALDAUF, 2007). Os japoneses antigos utilizaram uma unidade de medida de origem chinesa, o SHAKU, e, mais tarde, o KEN, os quais não possuíam uma dimensão fixa, mas regulavam a separação entre as colunas das edificações, e posteriormente, serviram de medida reguladora em todos os aspectos das edificações. A modulação japonesa originou métodos de projeto tradicionais com dimensões constantes (fig. 6.4).

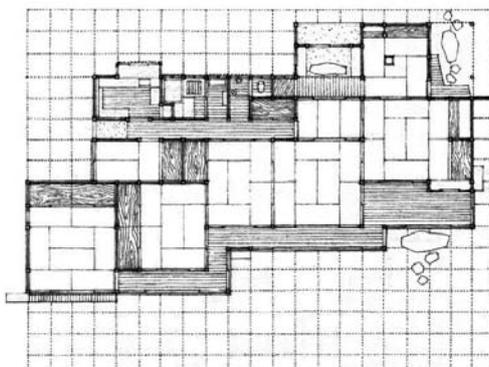


Figura 6.4 - Residência típica japonesa (CHING, 2002)

Com a revolução industrial e a criação da malha de estradas de ferro nos países, a construção civil deixou de ser escrava da matéria-prima local, podendo trazê-la de outra cidade para a execução de novas obras. O capitalismo em expansão almejava demonstrar seu poderio através de grandes construções resistentes e imponentes.

O avanço da tecnologia nesta época propiciou o uso de novos materiais e com produção em larga escala, como as estruturas em concreto armado e em aço. Os responsáveis pela construção dos edifícios começaram a rever os projetos arquitetônicos para que este ramo também acompanhasse a tendência da industrialização e da produção em série, fabricando então peças pré-moldadas e moduladas, visando baixar os custos e agilizar a linha de montagem.

Pesquisadores como Le Corbusier e Ernst Neufert aprofundaram nos estudos sobre a coordenação modular de modo a produzir edificações em série, principalmente visando a reconstrução das cidades no pós segunda guerra.

Em 1975, a ABNT publicou a “Síntese da Coordenação Modular”, onde a define como:

A aplicação específica do método industrial por meio do qual se estabelece uma dependência recíproca entre produtos básicos (componentes), intermediários de série e produtos finais (edifícios), mediante o uso de uma unidade de medida comum, representada pelo módulo.

Segundo Greven & Baldaf (2007), a definição mais atual e abrangente é de Greven (2000), quando diz que a coordenação modular é “a ordenação dos espaços na construção civil”.

Desta maneira, objetivando a racionalização da construção, foram normatizados e certificados os projetos arquitetônicos e complementares da construção civil, bem como a produção da matéria-prima, montagem e manutenção das edificações.

Utilizando a coordenação modular, o arquiteto garante que seu projeto seja executável de maneira rápida, simples e sem quebras, visto que as peças seguem um módulo adotado, e uma montagem tipificada. Desta maneira reduz os custos e aumenta a produtividade de execução e de projeto. Aproveitando melhor os componentes construtivos, é verificada maior sustentabilidade da obra, apresentando menor quantidade de rejeitos, menor sobra, consumo otimizado de matéria prima, bem como um consumo energético para a produção racionalizado.

A ABNT definiu em 1977, *módulo* como sendo “a distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência”, como mostrado na figura 4.5. Desta maneira, o reticulado espacial de referência para modulação em alvenaria estrutural é utilizado tanto na fase de projeto quanto na fase da obra, visando otimizar todo o processo.

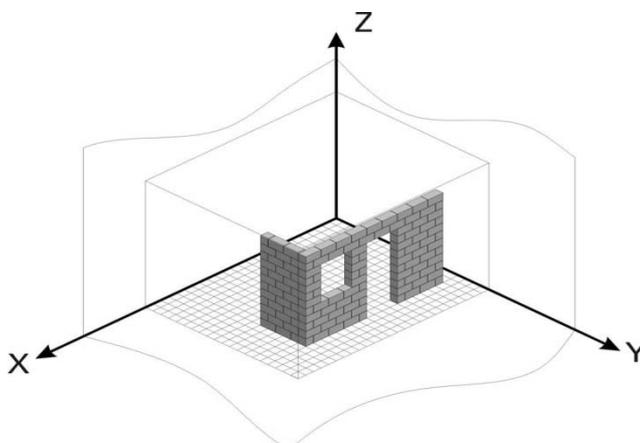


Figura 6.5- Reticulado modular espacial de referência (GREVEN & BALDAUF, 2007)

Para as alvenarias, foram padronizados os tamanhos dos blocos, reduzindo a variedade do mercado e otimizando a produção em série, garantindo ao projetista o produto especificado no mercado em preços acessíveis, e com qualidade. Ao agilizar as decisões de projeto e a compra dos componentes, é garantido também o aumento da produtividade e a diminuição das perdas de materiais em obras.

Em alvenaria estrutural, o bloco é a base da coordenação modular. O projeto arquitetônico deve ser elaborado de acordo com o tipo de bloco escolhido, e as dimensões totais dos ambientes serão definidas por múltiplos deste módulo, seja no sentido horizontal, seja no sentido vertical (fig. 6.6). Da mesma maneira, todos os outros elementos da obra devem estar de acordo com esta modulação, para que se “encaixem” perfeitamente.

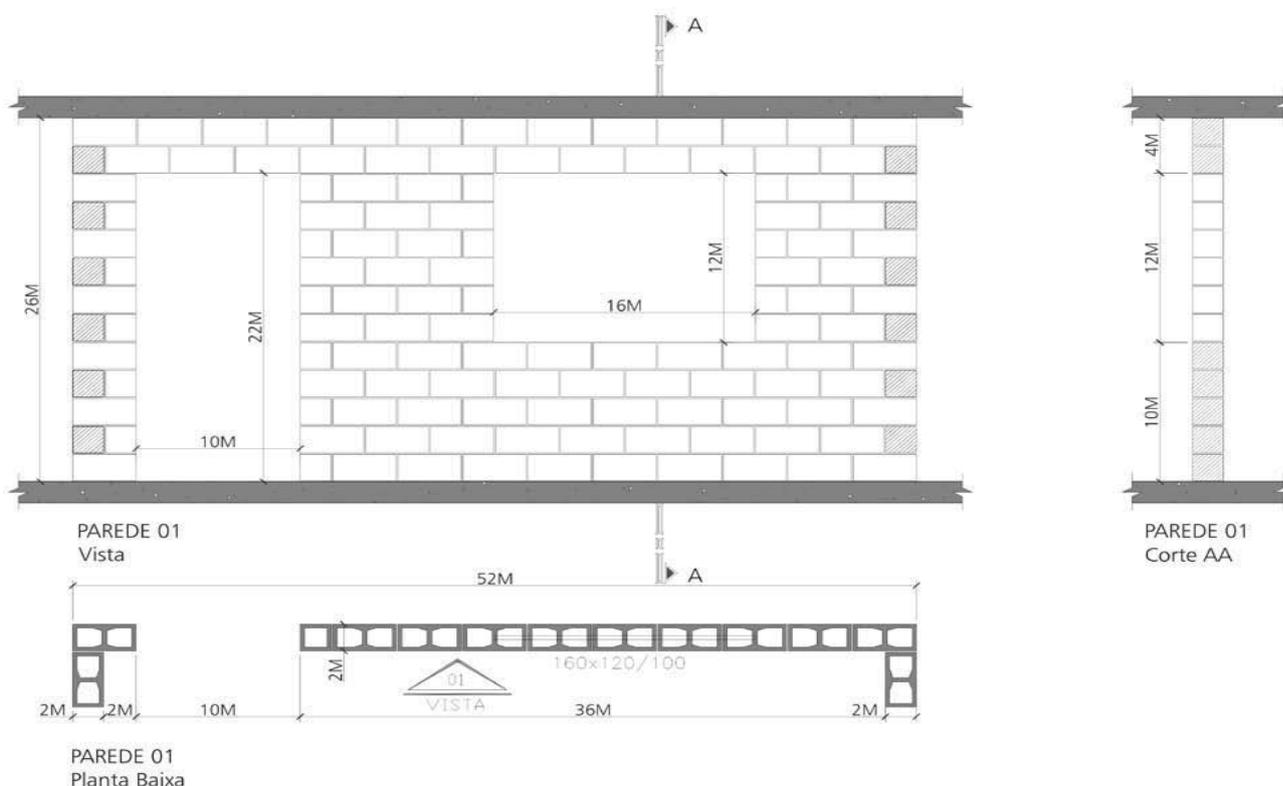


Figura 6.6 - Modulação de uma parede executada em alvenaria de blocos de concreto (GREVEN & BALDAUF, 2007)

De acordo com as normas brasileiras para bloco cerâmico e de concreto NBR 15270 (ABNT, 2005) e NBR 6136 (ABNT, 1989), a modulação destes blocos deve ser múltiplo de 10 cm, sendo que esta dimensão modular equivale à dimensão real do bloco acrescida de 1cm, correspondente à junta de argamassa, tanto no sentido horizontal (largura e comprimento), quanto no vertical (altura). A norma admite também o submódulo M/2 para apenas um caso, os blocos de modulação 15cm.

Assim, tem-se dois módulos em alvenaria estrutural correspondente ao tijolo e 0,5 cm de argamassa em todas as direções. Entre os blocos são consideradas as juntas horizontal e vertical de 1 cm e na parte externa, revestimento de 0,5cm de espessura, o que é exemplificado nas figuras 6.7, 6.8 e 6.9.

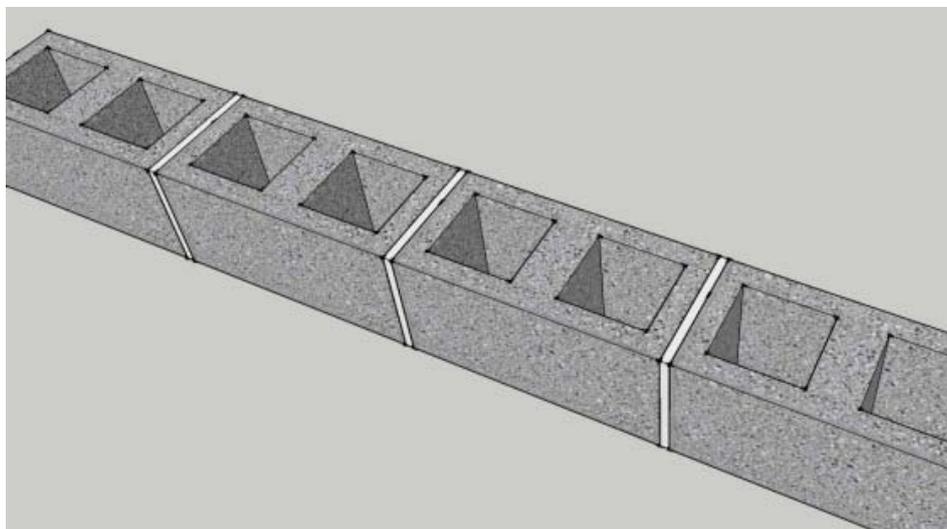


Figura 6.7 - Juntas verticais de 1 cm.

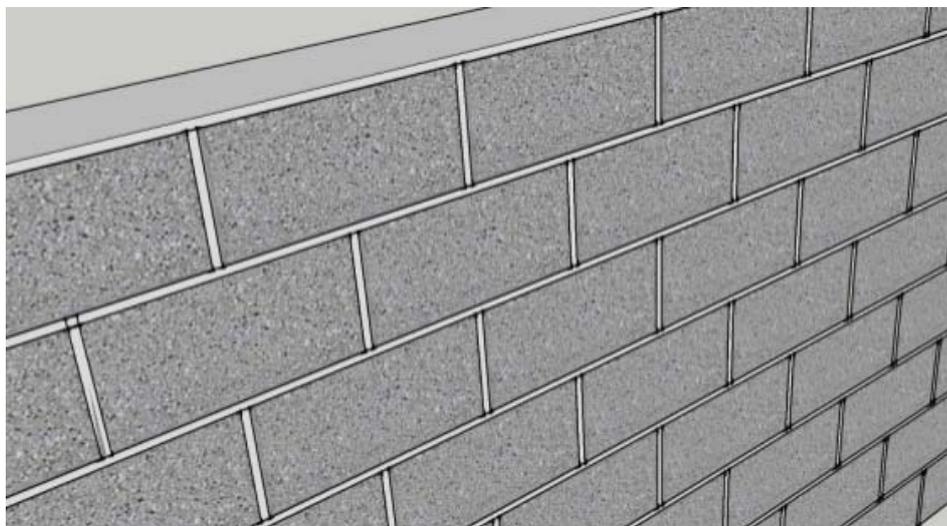


Figura 6.8 - Juntas verticais e horizontais de 1 cm.

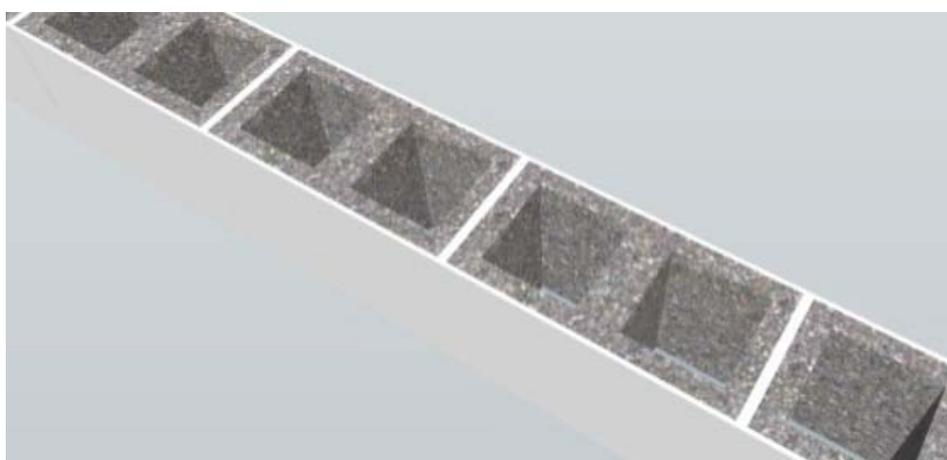


Figura 6.9 - Juntas e revestimento externo.

De acordo com as normas vigentes, são encontrados no mercado blocos com modulação M10, M15 e M20, ou seja, módulos de 10, 15 e 20 cm de largura. Os blocos de modulação M10 são apenas normatizados para os fabricados em concreto, e apenas permitidos para a construção de casas térreas ou sobrados, porém é importante ressaltar que as paredes menos espessas podem gerar ambientes com piores desempenhos térmicos e

acústicos. Desta maneira, serão tratados neste trabalho as modulações M20 e M15.

Quando têm-se dimensões de projeto que não sejam múltiplas da modulação é necessário fazer ajustes dimensionais. O modo de fazer estes ajustes deverá ser especificado no projeto, e dependerá do tipo de superfície dos materiais que devem ser unidos, e do tipo de material a unir. Os tipos de ajustes mais utilizados são os preenchimentos com argamassa de maior espessura ou peças de concreto pré-moldadas, no caso de dimensões maiores que 4 cm. Essas peças pré-moldadas para ajuste são conhecidas como blocos compensadores ou "rapaduras" (MAMEDE, 2001).

No momento da concepção de projeto deve ser considerado que, quanto menor a quantidade de blocos, mais rápida será a execução; para isso o bloco deve ter um comprimento maior, correspondente a 2 ou 3 módulos. Porém pode ser necessário o uso de blocos menores para a execução de toda a parede, ou de cômodos que terão dimensões que não são divisíveis pelo tamanho deste bloco.

Durante a concepção do projeto a ser executado em alvenaria estrutural, o arquiteto deve ter em mente as modulações a fim de evitar estes ajustes. Se, o projeto não tiver sido concebido modularmente e for adaptado, recomenda-se a modulação M15 pois quanto menor o módulo mais fácil a adaptação e menor o número de ajustes necessários (ACCETTI, 1998). Desta maneira, as dimensões em projetos devem ser divisíveis pela modulação escolhida, observando sempre os blocos disponíveis no mercado para cada modulação.

É importante lembrar que quanto menor a variedade de blocos presentes em um projeto, mais fácil a execução, e mais barata a obra, pois as compras por volume de um mesmo tipo ajudam na redução de custo.

Os blocos devem ser organizados de maneira que não haja juntas a prumo, ou seja, que não exista junta vertical apoiada sobre junta vertical, garantindo assim a interação de todos os blocos da parede. A modulação horizontal deve ser baseada então, em $n \times M$, onde M é a modulação e n um número inteiro, e as fiadas subsequentes devem ter as juntas defasadas de acordo com o módulo, no total M , como é visto na figura 6.10.

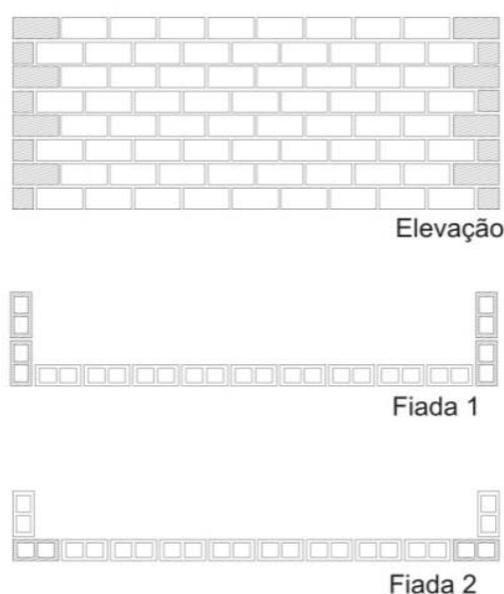


Figura 6.10 - Exemplo de fiadas sem juntas a prumo.

A modulação vertical, ou altimétrica, pouco influi no arranjo arquitetônico, mas define o pé direito dos pavimentos. Cabe salientar que é feita em módulo de 20 cm, ou seja, o bloco possui a altura de 19cm e considera-se 1cm de junta em argamassa. Essa modulação foi baseada, segundo Rosso (1976), nas dimensões usuais dos aparelhos de habitação, como bancadas, peças sanitárias, móveis, etc.

Para auxiliar na modulação vertical, encontramos no mercado blocos no formato "J" e "U", os quais são usados para confecção de cintas, vergas e apoio para as lajes, que são apresentados no item 6.4 deste trabalho.

6.3 Amarração

Para um bom funcionamento estrutural das paredes de alvenaria, é desejável que elas estejam amarradas entre si, ou seja, que uma trabalhe em conjunto com a outra. As amarrações podem ser feitas de maneira indireta ou direta, e garantem interação das paredes nos cantos. Desta maneira, as paredes mais carregadas usam as menos solicitadas para aliviarem o excesso de carga que nelas se apoiam (RAMALHO & CORRÊA, 2003). Na figura 6.11, pode ser observada a interação entre as paredes, através desse intercalamento de blocos (amarração direta).

As amarrações diretas são feitas com a intercalação dos blocos na junção das duas paredes, de modo que não existam juntas a prumo, ou seja, um entrosamento alternado entre as fiadas, permitindo caminhos alternativos para as cargas fluírem pela parede e para as paredes adjacentes. Em alguns casos se faz necessário o uso de blocos especiais de dimensões iguais a M e 3M, nos casos de amarração de três paredes.

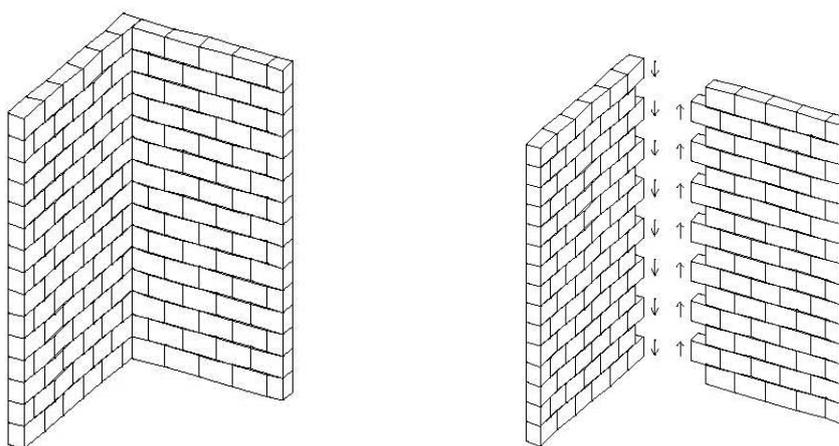


Figura 6.11 - Amarração direta entre as paredes.

Conforme afirma Mamede (2001), “a amarração direta das paredes está intimamente ligada à modulação da alvenaria, pois relaciona a espessura do bloco com seu comprimento”. A autora ainda ressalta que a amarração direta pode interferir de maneira significativa e positivamente na segurança e economia da obra, além de contribuir na prevenção de colapso progressivo, no aproveitamento da resistência das paredes e no contraventamento.

A amarração indireta é feita por preenchimento dos blocos com graute e armadura, de modo a solidarizar as paredes que não possuem a intercalação de blocos. Pode ser feita com ferros transversais no encontro das paredes ou por grapas, que são ferros dobrados dispostos horizontalmente junto à argamassa das fiadas, como é mostrado na figura 6.12.

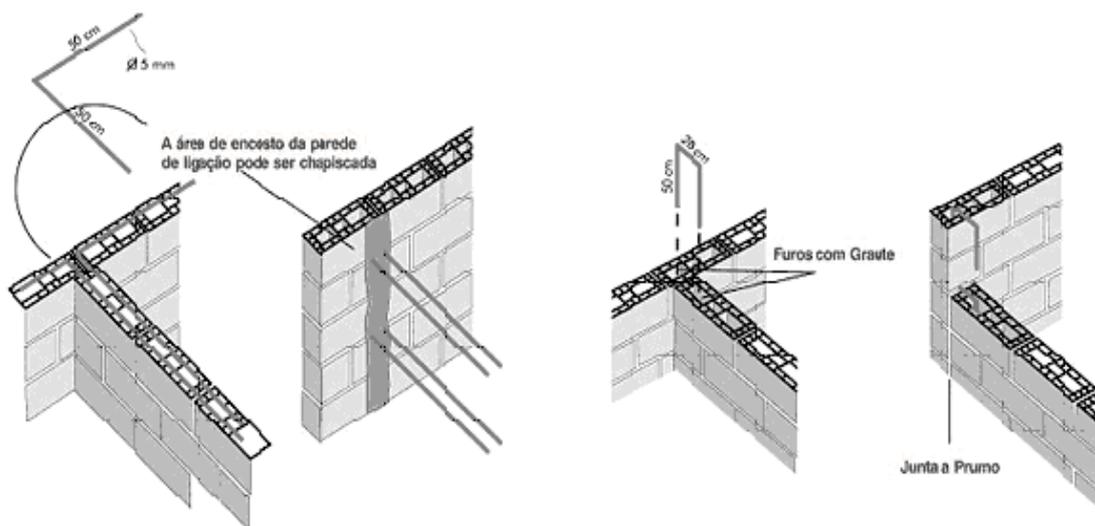


Figura 6.12 – Amarração indireta de paredes feitas com grapas e ferros transversais (FKTC, disponível em www.fkct.com.br).

Por apresentar mais gastos de materiais e mão de obra, a amarração indireta é mais onerosa e demanda maior tempo para execução.

6.4 Os Blocos Estruturais

Os blocos estruturais cerâmicos, em concreto ou em concreto celular autoclavado encontrados no mercado variam quanto à sua resistência nominal e suas dimensões. Encontram-se no mercado blocos de diferentes resistências e diferentes dimensões. Segundo a Norma Brasileira, os blocos estruturais cerâmicos e de concreto devem seguir as dimensões encontradas nas Tabelas 6.1 e 6.2. Já os blocos estruturais em concreto celular auto-clavado devem seguir as dimensões dos blocos de concreto, segundo a NBR 13438 (ABNT, 1995), porém encontram-se também no mercado blocos com dimensões diferentes das recomendadas em norma.

Tabela 6.1 - Dimensões reais dos Blocos modulares e submodulares de Concreto, segundo NBR 6136.

Dimensão(largura)	Designação	Dimensões coordenadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
20	M20	190	190	190
		190	190	390
15	M15	140	190	190
		140	190	390

Obs: A ABNT (1982), NBR 5712, ainda considera a dimensão de 90mm para o comprimento e para a meia altura dos blocos modulares de concreto.

Tabela 6.2 Dimensões reais dos Blocos modulares e submodulares de cerâmica, segundo NBR 15270.

Dimensão – largura (cm)	Designação	Dimensões coordenadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
20	M20	190	190	190
		190	190	240
		190	190	290
		190	190	390
15	M15	140	190	190
		140	190	240
		140	190	290
		140	190	390

Como visto anteriormente, os blocos estruturais no Brasil são fabricados conforme a NBR 6136 (blocos vazados de concreto) e NBR 15270 (blocos cerâmicos).

No mercado, são encontrados estes blocos divididos em famílias, segundo seu comprimento nominal, igual a 2M-1, ou seja, famílias de bloco 29 e 39 cm.

A família de bloco 29 (fig. 6.13) é composta pelo bloco de 29 cm de comprimento, correspondente a 2M, o bloco de 14 cm (M), e o bloco de 44 cm (3M). Nesta família, o comprimento dos blocos é proporcional à sua largura, permitindo uma melhor amarração entre paredes com o escalonamento dos blocos e a modulação em planta se torna mais fácil de ser realizada. Como desvantagem pode apresentar custo superior aos blocos da família 39 (PARSEKIAN & FURLAN JUNIOR, 2003).

Já a família de blocos 39 (fig. 6.14), são encontrados com espessura de 14 ou 19cm, contendo o bloco de 19 (M), 39 (2M), 34 e 54cm de comprimento, sendo os dois últimos blocos especiais para a amarração quando a espessura é de 14 cm. Apesar de ser mais utilizada com espessura de 14cm, apresenta a desvantagem de ter a espessura e largura desproporcionais, exigindo o uso desses blocos especiais para a amarração direta (PARSEKIAN & FURLAN JUNIOR, 2003). Em contrapartida, a variedade de blocos que pode se apresentar como aumento do custo, pode ser positiva na adaptação dos projetos para o sistema em alvenaria estrutural, exigindo menor quantidade de quebra de blocos. Outra vantagem é a diminuição do número de blocos em cada parede, aumentando a velocidade da obra, devido aos tamanhos maiores dos blocos.



Figura 6.13 - Família de blocos 29.



Figura 6.14 - Blocos da Família 39.

Encontram-se também blocos compensadores e blocos especiais, como o bloco "J" e o bloco "U".

O bloco "J" (fig. 6.15) é utilizado para manter a uniformidade da construção na junção dos blocos e lajes. São usados nas paredes externas, sendo o lado maior do bloco voltado para o exterior mantendo a continuidade, e o menor para o interior, permitindo o encaixe perfeito da laje. Quando adotado este tipo de bloco, cortes dos componentes e ajustes são evitados, aumentando a produtividade e evitando custos desnecessários (MAMEDE, 2001).



Figura 6.15 - Bloco "J" em concreto.

Para a execução de cintas e encaixes internos de laje, o mercado disponibiliza o bloco "U" ou bloco canaleta, ilustrado na figura 6.16. Possui seu interior vazado e sem as paredes laterais na interface entre os blocos, possibilitando o enchimento total, formando uma peça única com os blocos adjacentes quando grauteado.



Figura 6.16 - Bloco "U" em concreto.

Estes dois últimos blocos apresentados garantem que a modulação vertical seja mantida, sem maiores prejuízos para o projeto e obra.

Outras propriedades dos diferentes materiais devem ser observadas na escolha para o projeto, como as propriedades térmicas e acústicas. Cada material e espessura de bloco fornecem coeficientes diferentes de isolamento para as duas características, e quando não estão adequadas ao desejado de projeto devem ser tomadas outras decisões arquitetônicas que as compense. As

propriedades térmicas dos blocos serão exploradas com mais detalhes no capítulo a seguir.

6.5 Desempenho Acústico dos Blocos de Alvenaria Estrutural

O arquiteto deve se preocupar com o conforto acústico dos ambientes que são projetados, e são os materiais especificados, bem como o arranjo dos mesmos que definirão o desempenho acústico das paredes.

A preocupação com o custo da construção tem desanimado os construtores com relação ao tratamento acústico das edificações, porém, cuidados na fase de projeto podem apresentar boas soluções a baixo custo, proporcionando melhores condições acústicas aos ambientes.

A NBR 15575 (ABNT, 2008), cita os requisitos mínimos de desempenho para paredes externas e internas de uma edificação, visando a isolamento acústica entre os ambientes, e são explicitados de maneira mais completa na parte 4 e 5 da mesma norma.

Segundo a Norma de Desempenho citada, os projetos devem considerar nível de ruído externo para calcular o isolamento necessário para que internamente os níveis de ruído sejam inferiores a valores-limites pré-estabelecidos e listados na tabela 4.4. Também é especificado que devem ser levados em conta as condições de “geração, propagação e recepção dos sons na edificação” (NBR 15.575 -ABNT,2008), bem como ruídos variáveis, vibrações de equipamentos e os que são causados por impactos.

Se faz necessário lembrar que o desempenho acústico da parede dependerá dos materiais que a compõem, bem como da existência ou não de aberturas, e não somente do nível de isolamento acústico do bloco. Deve ser

realizado um cálculo preciso, que leva em consideração as propriedades de isolamento de cada camada de material, bem como a ordem das camadas em relação à fonte sonora.

O som se propaga no ar, e toda fresta que haja em uma parede permite a passagem do mesmo. Desta maneira é importante que sejam preenchidas de maneira correta as juntas verticais da alvenaria, bem como vedadas as frestas na interface com as esquadrias.

O revestimento das alvenarias também possui grande influência. Segundo Neto (2006), o revestimento da parede na face receptora do ruído pode amenizar até 5dB de ruído no lado receptor. Da mesma maneira o autor destaca o uso de juntas rígidas como amenizador de 1dB mais eficiente como barreira sonora que conexões elásticas.

Na tabela 4.3 são encontrados alguns valores de redução sonora dos blocos de alvenaria de concreto, de cerâmica e de concreto celular autoclavado com largura de 14 cm. Pode ser observado que os blocos possuem o isolamento mínimo requerido para alguns itens na NBR 15.575 (ABNT, 2008), isoladamente se comparados à tabela 6.4.

Tabela 6.3 Isolamento acústico fornecido por painel de alvenaria estrutural (FRANCO, 2008; EGAN, 1988).

Unidade	Isolamento
Bloco concreto vazado M15	51 dB
Bloco cerâmico vazado M15	48-52 dB
Bloco de concreto celular M15	44 dB

A parede simples de alvenaria (bloco com camada externa e interna de argamassa ou gesso igual a 0,5cm), possui propriedades acústicas semelhantes a do bloco, visto que é o seu principal componente. Neste caso o revestimento é muito delgado, somente fechando as frestas entre os blocos e na interface entre alvenaria e laje. Esta informação é válida se a parede for cega, ou seja, não possui vãos.

Os revestimentos que a parede possui poderão contribuir para um melhor desempenho, variando sua espessura e material, de acordo com o isolamento acústico pretendido. Existem materiais para revestimento das paredes que oferecem uma barreira acústica que atenda os requisitos mínimos de desempenho de fina espessura e custos acessíveis. É interessante que seja avaliada o nível de desempenho da barreira acústica desejada para que se escolha o revestimento adequado.

No caso do uso de blocos cerâmicos ou de concreto autoclavado com isolamento inferior ao requerido é recomendado o uso de paredes duplas ou de materiais isolantes para melhor desempenho.

As Normas Brasileiras NBR 15270 (Blocos Cerâmicos) e NBR 6136 (Blocos de Concreto) permitem o uso de blocos estruturais de 11,5 cm para casas térreas e sobrados mas deve ser observada a deficiência de isolamento acústico necessário entre os ambientes internos e externos, e entre as paredes internas da construção.

Tabela 4.4 - Índice de redução sonora ponderado dos componentes construtivos, R_w , para ensaios em laboratório(NBR 15.575 - ABNT, 2008).

Elemento da edificação	R_w[dB]	Nível de desempenho
Parede de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas de corredores, halls e escadaria nos pavimentos-tipo	35 a 39	Mínimo-Recomendado
	40 a 44	Intermediário
	≥ 45	Superior
Parede de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de transito eventual, como corredores, halls e escadaria nos pavimentos-tipo	45 a 49	Mínimo-Recomendado
	50 a 54	Intermediário
	≥ 55	Superior
Parede entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas atividades de lazer e de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	Mínimo-Recomendado
	55 a 59	Intermediário
	≥ 60	Superior
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação)	45 a 49	Mínimo-Recomendado
	50 a 54	Intermediário
	≥ 55	Superior

7. DESEMPENHO TÉRMICO DE ENVOLTÓRIAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Na segunda metade do século XX, principalmente após a crise energética de 1973 nos EUA, as pesquisas nos países de primeiro mundo sobre o uso racional e conservação de energia tomaram grande relevância (CRUZ et al, 2004). Sabe-se que consumo energético das edificações está diretamente ligado ao seu conforto ambiental, que pode ser estimado através de simulações anteriores a sua construção, reduzindo custos a curto, médio e longo prazo (ROMERO et al, 2007).

A preocupação com a sustentabilidade energética e ambiental das edificações extrapola o consumo energético ao longo da vida útil do edifício e deve ser considerada desde sua construção. O processo construtivo a ser adotado deve ser avaliado buscando a racionalidade da construção, com um mínimo consumo de energia e um máximo desempenho nesse processo. A utilização da Alvenaria Estrutural tem apresentado resultados positivos como processo construtivo racionalizado com baixo consumo de energia para a construção e baixo custo de investimento, aliado a rapidez na construção (RAUBER et al, 2005).

Sendo o definidor do ambiente construído, bem como do seu desempenho ao longo de sua vida útil, o arquiteto deve conhecer as propriedades dos materiais utilizados na construção, cuja modo de utilização e forma final do objeto arquitetônico irão garantir que as condições de desempenho sejam satisfatórias.

Em 2008, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a Norma de Desempenho para edifícios de até cinco pavimentos, a NBR 15575. Em sua

primeira parte são contemplados os requisitos gerais e, entre eles, os que estabelecem as condições mínimas de desempenho térmico do edifício.

Nesse sentido, foi diagnosticada a necessidade de uma análise do desempenho térmico de envoltórias em alvenaria estrutural composta pelos diferentes blocos encontrados no mercado brasileiro, visto que não foi encontrado nenhum estudo nesse aspecto. O estudo foi realizado utilizando dados climáticos da cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, resultando em diretrizes projetuais iniciais para um melhor desempenho térmico da edificação em alvenaria estrutural.

As análises foram realizadas usando um modelo típico de edificação erguida utilizando o processo em alvenaria estrutural, para a cidade de Belo Horizonte, incluída na Zona Bioclimática 3, conforme a NBR 15220 (ANBT, 2005). Utilizando a “Tabela de Avaliação de Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos” desenvolvida por Souza & Pereira (2004).

Foram verificados o ganho e a perda de calor nos solstícios de verão e inverno em uma edificação considerada típica construída em alvenaria estrutural, em horários extremos.

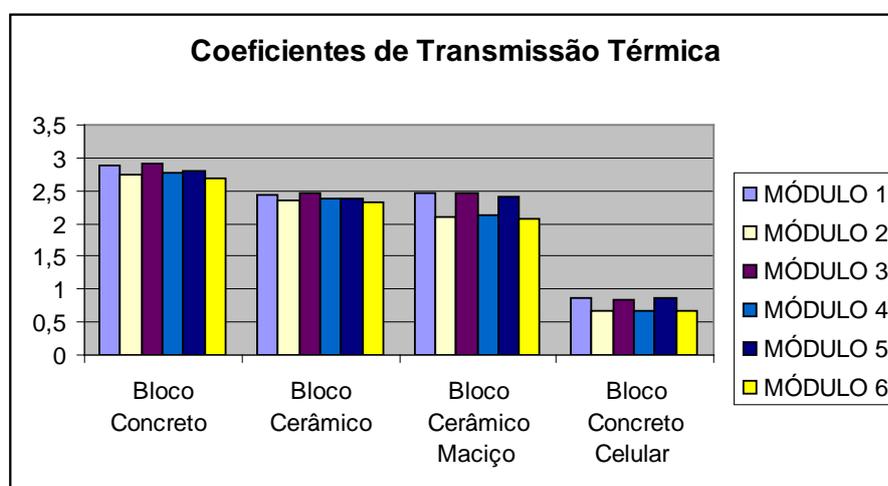
7.1 Obtenção do Coeficiente de Transmissão Térmica (U)

A análise pela “Tabela de Análise de Desempenho Térmico” requer a inserção do Coeficiente de Transmissão Térmica (U). Para obtenção do Coeficiente de Transmissão Térmica “U” ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$), foram modeladas as composições das paredes no programa “ARQUITROP” desenvolvido por Maurício Roriz (disponível em www.labeee.ufsc.br), e obtidos os dados apresentados a seguir na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Coeficiente de Transmissão Térmica ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

	M15	M20	M15	M20	M15	M20
	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 1 cm	ARGAMASSA 1 cm
	GESSO 0,5 cm	GESSO 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 0,5 cm	ARGAMASSA 1 cm	ARGAMASSA 1 cm
	MÓDULO 1	MÓDULO 2	MÓDULO 3	MÓDULO 4	MÓDULO 5	MÓDULO 6
Bloco Concreto	2,9	2,7	2,9	2,8	2,8	2,7
Bloco Cerâmico	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	2,3
Bloco Cerâmico Maciço	2,5	2,1	2,5	2,1	2,4	2,0
Bloco Concreto Celular	0,9	0,7	0,8	0,7	0,9	0,7

Ao analisar-se os valores dos coeficientes de transmissão térmica obtidos para as combinações entre tipos de bloco e revestimento, pode-se perceber que ao variar-se o material do revestimento e sua espessura, mantendo-se fixa a modulação e material do bloco, tem-se uma pequena diferença no coeficiente de Transmissão Térmica (U). Porém, a comparação de materiais de uma mesma modulação, ou modulações diferentes de um mesmo material, resulta em diferenças consideráveis nesse coeficiente, conforme resultados apresentados no Gráfico da figura 7.1.

**Figura 7.1** - Comparação entre os Coeficientes de Transmissão Térmica ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

7.2 Preenchimento e Análise da “Tabela de Avaliação de Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos”

A análise inicial foi realizada através do preenchimento da “Tabela de Avaliação de Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos”, com os dados obtidos anteriormente. Foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Resultados de perdas e ganhos de calor através da envoltória dos edifícios simulados em Belo Horizonte, obtidos através do preenchimento da “Tabela de Avaliação de Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos”.

MATERIAL	ORIENTAÇÃO	MÓDULO 1		MÓDULO 2		MÓDULO 3		MÓDULO 4		MÓDULO 5		MÓDULO 6	
		M15		M20		M15		M20		M15		M20	
		PERDA (W)	GANHO (W)										
CONCRETO VAZADO		-9041	11337	-8677	10893	-9116	11444	-8744	10977	-8856	11118	-8508	10341
CONCRETO VAZADO		-9881	21513	-9491	21010	-9961	21619	-9563	21103	-9683	21259	-9311	20777
CERÂMICO VAZADO		-7871	14043	-7663	13781	-7922	14107	-7714	13845	-7735	13871	-7537	13623
CERÂMICO VAZADO		-8629	19894	-8406	19605	-8683	19965	-8460	19676	-8483	19705	-8271	19431
CERÂMICO MACIÇO		-7906	14086	-6959	18630	-7952	14144	-6999	12947	-7770	13915	-6860	12773
CERÂMICO MACIÇO		-8666	19943	-7652	18630	-8715	20006	-7695	18686	-8520	19753	-7546	18493
CONCRETO CELULAR		-3655	8747	-3157	8122	-3580	8653	-3163	8128	-3636	8723	-3149	8112
CONCRETO CELULAR		-4114	14050	-3581	13361	-4033	13947	-3163	8128	-4093	14024	-3572	13350

7.3 Análise de resultados

Analisando-se os resultados, nota-se que a orientação das fachadas tem grande influência no ganho de calor pela envoltória, sendo esta mais significativa do que a diferenciação de materiais constitutivos das paredes de vedação. As fachadas com aberturas, quando voltadas para leste e oeste, transmitem para o interior da edificação mais calor do que quando voltadas para norte e sul nos horários considerados extremos para o período de calor (observe os resultados de todos os módulos para: caso 1 e caso2, caso 3 e caso 4, caso 5 e caso 6, caso 7 e caso 8). Nesse sentido tem-se uma diretriz importante para projetos arquitetônicos: deve-se, preferencialmente, voltar as aberturas para as fachadas norte e sul, e, quando tal não for possível, as aberturas nas fachadas leste e oeste devem apresentar proteção solar para evitar ganhos e perdas de calor pela envoltória do edifício. Os resultados encontrados corroboraram o que é estabelecido como índice de conforto ambiental estabelecidos pela NBR 15.220 (2008) para a Zona Bioclimática 3.

É importante destacar que as perdas e ganhos de calor nessa análise não levam em conta a ventilação do local. A orientação das aberturas também deve ser avaliada em função da direção dominante dos ventos, o que não foi considerado na análise realizada.

Nota-se, também, que o ~~desempenho de~~ revestimento interno em gesso ou em argamassa não apresentou variação de desempenho térmico significativa na análise, sendo assim, a escolha do material do revestimento pode ser condicionada a fatores econômicos e de produtividade, e não necessariamente ao seu desempenho térmico. O mesmo ocorre na diferenciação na espessura da argamassa, que não apresenta resultados relevantes ao estudo.

Os blocos cerâmicos, vazado e maciço, também apresentaram resultados semelhantes, devido ao isolamento térmico causado pela camada de ar presente no interior do bloco cerâmico vazado.

A diferenciação de espessura do bloco apresentou cerca de 10% de diferença de ganhos e perdas de calor nos resultados da tabela analisada para as situações extremas de inverno e verão. Esse fator, por apresentar um percentual de redução de ganho de calor que pode ser considerado baixo e considerando-se ainda a redução de custos com a construção de uma parede mais leve, deve ser analisado em conjunto com a orientação da edificação na seleção final do componente de vedação.

Quanto ao material do principal componente da envoltória, o bloco, o bloco de concreto apresentou os mais elevados de ganhos de calor, enquanto o bloco de concreto celular auto-clavado apresentou resultados com ganhos de calor mais baixos. A diferença entre os ganhos de calor foi da ordem de 130% dos blocos de celular autoclavado em relação aos blocos de concreto, enquanto a diferença de perda de calor apresentou diferença de cerca 250% entre os casos dos dois materiais.

No entanto, deve-se ter ciência também de que um sistema ou ambiente, qualquer que seja ele, quando ventilado, perde calor com maior facilidade que quando não ventilado. Um ambiente construído com envoltória isolante, quando não ventilado, pode causar um desconforto igual ou maior que um material menos isolante em climas quentes, pelo acúmulo do calor nos períodos quentes.

7.4 Conclusões sobre o desempenho térmico das envoltórias utilizando o processo de alvenaria estrutural analisadas

Conclui-se que a orientação das aberturas, apesar de não ser o foco principal deste trabalho, influi diretamente no desempenho térmico da envoltória, visto que os modelos que apresentavam a maior parte das aberturas voltadas para leste e oeste obtiveram maiores ganhos de calor no verão e perdas de calor no inverno ao comparar com os das fachadas norte e sul.

Deve-se lembrar ainda que a ventilação natural deve ser favorecida na cidade onde foi apresentado o estudo. Nesta, os ventos dominantes possuem direção leste, sendo necessárias aberturas nas fachadas destas orientações para que a ventilação cruzada ocorra. Desta maneira, é imprescindível uma boa arquitetura para que a edificação apresente um bom desempenho térmico.

Para um melhor desempenho térmico da parede de alvenaria estrutural, o elemento mais importante da sua composição é o bloco, visto que é o único componente que apresenta espessura relevante. O revestimento externo e interno em gesso ou argamassa, com espessura de 0.5 cm ou 1 cm, apresenta resultados sem diferenciação significativa no estudo aqui desenvolvido.

A análise feita aponta que o bloco de modulação M20 apresenta melhores resultados em relação ao bloco de modulação M15. A escolha da modulação deve favorecer a amarração direta entre os blocos, e deve-se usar a menor variedade de blocos possível. Sendo assim a melhor modulação é aquela que apresenta um bloco de modulação de comprimento múltiplo de sua modulação de espessura.

Desta forma, levando em consideração apenas essa análise e as dimensões dos blocos disponíveis no mercado segundo a NBR6136 (para blocos de concreto) e a NBR 15270 (para blocos cerâmicos), a escolha mais otimizada de um bloco parece ser, em primeira instância, a de modulação M20.

É importante lembrar que para escolha da modulação a ser utilizada devem ser levadas em conta as questões estrutural, econômica e de disponibilidade do produto. Se os custos obtidos com a modulação de melhor desempenho térmico forem altos, pode-se utilizar a outra modulação com pequena diferenciação de desempenho térmico, aliando-a a proteções solares e outros recursos de uma boa arquitetura.

8. Conclusão

Ao elaborar um projeto, o arquiteto deve ter em mente a sua responsabilidade com o objeto projetado, visto que definirá não somente as funções estéticas da edificação, mas também seu desempenho como ambiente construído. Visto que os projetos de instalações e estrutural terão como base o projeto arquitetônico, o desempenho desses projetos está atrelado ao sucesso do projeto que lhe dá origem.

O sistema em alvenaria estrutural oferece um alto nível de construtibilidade e racionalidade. As paredes desempenham a função de vedação e estrutura, e seu desempenho estrutural dependerá do arranjo arquitetônico e outras decisões que caberão ao arquiteto. Desta maneira é necessário que esse profissional conheça as particularidades do sistema, para que elabore projetos compatíveis.

Ao elaborar este trabalho foi detectada carência de um material voltado para arquitetos contemplando as necessidades de conhecimento deste profissional para elaborar um projeto arquitetônico a ser executado em alvenaria estrutural. O conhecimento acerca do processo construtivo, dos elementos que compõem as paredes, do conceito de modulação e sua aplicação é essencial para que a interface entre os projetos arquitetônico e complementares seja resolvida, não causando interferências negativas uns nos outros. É desejável que o projeto seja elaborado em conjunto, por uma equipe multidisciplinar, baseados nas particularidades de projeto expostas ao longo da dissertação.

Concluiu-se, então, que há uma deficiência de informação quanto ao sistema em alvenaria estrutural desde a graduação do arquiteto, que geralmente é resolvido quando o profissional adquire conhecimento através da

experiência prática. E, para que o arquiteto compreenda adequadamente o comportamento estrutural é imprescindível que ele saiba os conceitos fundamentais à execução da estrutura.

Quando as decisões em projeto não viabilizam a otimização de outros projetos, são geradas falhas que serão corrigidas por outros profissionais e que podem causar uma modificação não desejada no projeto arquitetônico. Essa modificação pode interferir no desempenho projetado para o edifício, onerar a obra e causar patologias futuras.

Quando o arquiteto possui o conhecimento do funcionamento estrutural, das condicionantes e particularidades de projeto é provável que conceba então um bom projeto em alvenaria estrutural.

É de grande importância um projeto arquitetônico bem resolvido e que leve em consideração as particularidades do projeto exigidas para sua construção em alvenaria estrutural. Desta maneira, o projeto poderá oferecer um bom retorno para o empreendedor e atender ao usuário do ambiente construído.

Conhecendo essas particularidades, o arquiteto poderá tomar decisões que otimizarão o processo de projeto, e por conseguinte, o processo de construção. Sendo o projeto arquitetônico embasado nas premissas que o sistema construtivo e estrutural exigem, o processo poderá ser mais ágil e o nível de detalhamento exigido poderá ser encontrado em todas as etapas facilitando a integração entre os demais projetos.

Com este trabalho espera-se contribuir com arquitetos e engenheiros, influenciando para que sejam tomadas boas decisões durante a concepção do projeto arquitetônico, a fim de minimizar os problemas encontrados na interface entre esse projeto e os demais, otimizando o processo de construção.

Para a elaboração do projeto, o arquiteto deve sempre levar em consideração o microclima do local, para tomar as decisões corretas no que tange ao desempenho térmico. Se faz necessário o conhecimento dos ventos predominantes e das temperaturas médias locais para tomadas de decisões acertivas.

Priorizar a ventilação natural é uma das principais decisões de projeto, para o clima analisado: além de ajudar na redução da temperatura interna nos meses de verão, a ventilação é um fator de higiene, pois renova o ar dos ambientes internos, aumenta os níveis de oxigênio e reduz os níveis de gás carbônico. Quando a ventilação natural não pode ser realizada, é necessária a previsão de outra forma de ventilação artificial.

O tipo de ventilação natural mais eficaz, ou seja, que renova mais vezes o ar de um ambiente em um mesmo tempo é a ventilação cruzada. Este tipo de ventilação ocorre quando há aberturas em faces opostas do ambiente, causando uma corrente de ar pela diferença de pressão (LAMBERTS, 2007).

É sugerido que haja continuidade deste trabalho, com a condensação das informações aqui contidas em forma de cartilha ou cd-rom. Outra continuidade é a distribuição deste material para arquitetos e a realização de uma pesquisa sobre a repercussão do material na otimização dos projetos arquitetônicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Síntese da Coordenação Modular*. Rio de Janeiro, 1975.

_____. *Esquadrias Modulares*. NBR 5722 , Rio de Janeiro, 1981.

_____. *Detalhes Modulares de Esquadrias*. NBR 5722 , Rio de Janeiro, 1981.

_____. *Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto*. NBR 10837, Rio de Janeiro, 1989. 20 p.

_____. *Manutenção de edificações: procedimentos*. NBR 5674, Rio de Janeiro, 1999. 6 p.

_____. *Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural: Especificação*. NBR 6136, Rio de Janeiro, 1994. 6 p.

_____. *Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em produção, instalação e serviços associados*. NBR ISO9002, Rio de Janeiro, 1994.

_____. *Blocos de Concreto Celular Auto-Clavado*. NBR 13438, Rio de Janeiro, 1995.

_____. *Desempenho térmico de edificações*. NBR 15220-2, Rio de Janeiro, 2005.

_____. *Bloco cerâmico para alvenaria: Especificação*. NBR 15270, Rio de Janeiro, 2005.

_____. *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho*. NBR 15575-1, Rio de Janeiro, 2008.

ACCETTI, K. M. *Contribuições ao Projeto Estrutural de Edifícios em Alvenaria. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas. USP São Carlos, 1998.*

Associação Brasileira de Cimento Portland. Alvenaria Estrutural.2009

BAGATELLI, R. *Edifícios de alto Desempenho: conceito e proposição de recomendações de projeto*. UFES: Vitória, 2002.

BARBOSA, P. C. *Interação entre paredes de alvenaria estrutural e Vigas de Concreto Armado*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000 .

BARROS, M. M. S. B. *Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios*. São Paulo: EPUSP, 1996. 422p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

BAUER, J. F. *Patologias em Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto*. Caderno Técnico Alvenaria Estrutural – CT5. Ed. Prisma, 2009.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. Code of practice for structural use of masonry – Part 1. Unreinforced masonry: BS 5628. London. 1978.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 163, de 08 de junho de 2009. *Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)*. Brasília, DF, 2009. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf>.

CAMACHO, J. S. *Alvenaria estrutural não-armada: Parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes*. 1986. 180 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

CARVALHO, Maria Cristina Ramos de. *Avaliação do uso de cursos como mecanismo de transferência de tecnologia em alvenaria estrutural*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

CHING, F. D. *Arquitetura: forma, espaço e ordem*. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

COELHO, R. A. *Patologia e Recuperação de Edifícios em Alvenaria*. I Workshop Internacional de Alvenaria. Belo Horizonte: PROPEES, 2008.

CORRÊA, M. R., & SILVA, R. M. *Aspectos Relevantes da Norma de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos no Tocante a Execução e Controle de Obras*. I Workshop Internacional de Alvenaria. Belo Horizonte: PROPEES, 2008.

CRUZ, A. B. de S.; GONÇALVES, J. P.; SILVA, N. F.; TOLEDO FILHO, R. D.; FARBAIRN, E. M. R. *Avaliação da sustentabilidade energética e ambiental em edificações*. Brasil - São Paulo, SP. 2004. 15 p. CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2004, São Paulo; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, São Paulo. Anais...

CURY, F. J. *Visão histórica nacional e Internacional*. Colóquio sobre Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto. Ibracom. São Paulo, 1977.

D'ALEMBERT, C. C. *O tijolo nas construções paulistas do século XIX*. *Dissertação* (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU-USP). São Paulo, 1993.

DI PIETRO, João Eduardo. *O conhecimento qualitativo das estruturas das Edificações na formação do arquiteto e do engenheiro*. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

DUARTE, R. *Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural*. Porto Alegre: ANICER, 1999.

EGAN, M. D. *Architetural Acoustics*. 1ed. New York: McGraw-Hill, 1988. 411p.

qualidade total em projetos de arquitetura. *Dissertação (Mestrado) FAU*. São Paulo, 1997.

FERREIRA, A. B. *Novo Aurélio século XX: o dicionário da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FIGUEIRÓ, W. O. *Racionalização do Processo Construtivo de Edifícios em Alvenaria Estrutural*. Monografia (Especialização) UFMG, 2009.

FRANCO, L. S. (2009). Alvenaria Estrutural: Execução e Controle. *Notas de Aula - UFBA*.

_____. Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada. *Tese (Doutorado). Escola Politécnica de São Paulo, 1992*.

_____. Racionalização construtiva, inovação tecnológicas e pesquisa. In: L. S. FRANCO, *In: Curso de Formação em Mutirão EPUSP*. São Paulo, 1996.

_____. *Paredes de Alvenaria – Características e Propriedades*. Apresentação de notas de aula, acesso em 2008.

FROTA, A.B.; SHIFFER, S.R. *Manual de Conforto Térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GREVEN, H. A. Coordenação Modular. In: H. A. GREVEN, *Técnicas não convencionais em edificação* (p. Notas de Aula). Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

GREVEN, H. A., & BALDAUF, A. S. *Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada*. (9. Coleção Habitare, Ed.) Porto Alegre: ANTAC, 2007.

HENDRY, A. W. *Structural design of brickwork buildings*. In: A. W. HENDRY, *Structural brickwork*. New York: Halsted Press Book, 1981.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., & PEREIRA, F. O. *Eficiência energética na Arquitetura*. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R., et al. O. *Desempenho Térmico de Edificações*. Florianópolis: 2007.

LOURENÇO, P. B., & SOUSA, H. (2002). *Concepção e Projecto para alvenaria*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, 2002 .

LUCINI, H. C. *Desenvolvimento de novos sistemas construtivos (Estudo de Caso)*. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

MACHADO, S. L. *Sistemática de concepção e desenvolvimento de projetos arquitetônicos para alvenaria estrutural*. 1999. 198 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

MAMEDE, F. C. *Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, USP. São Carlos, 2001.

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

MARCONI, M.A; LAKATOS, E.M. *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas S.A. 6ª Edição, 2005.

MELHADO, S. B. et al.. *Coordenação de projetos de edificações*. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

MELO, M. C. *Projeto Arquitetônico: Necessidades e Dificuldades do Arquiteto Frente às Particularidades do Processo Construtivo em Alvenaria Estrutural*. *Dissertação (Mestrado) UFSC*. Florianópolis, 2006.

NETO, N. A. S. *Caracterização do Isolamento Acústico de uma Parede de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos*. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

NIEMEIEYER, O. *Como se faz arquitetura*. Petrópolis: Vozes, 1986.

NISSEN, H. *Construcción industrializada y diseño modular*. Madrid: H. Blume., 1976

OHASHI, E. A. *Sistema de informação para coordenação de projetos de alvenaria estrutural*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001 .

OLIVEIRA, D. V. (2003). *Experimental and numerical analysis of blocky masonry structures under cyclic loading*. Tese (Doutorado) Universidade do Minho, 2003.

PARSEKIAN, G. A., & FURLAN JUNIOR, S. *Compatibilização de projetos de alvenaria estrutural*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, (p. 10). São Carlos, 2003.

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

RAUBER, F. C. *Contribuições ao Projeto Arquitetônico de Edifícios em Alvenaria Estrutural*. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

RAUBER, F. C., RIZZATI, E., & CAVALHEIRO, O. P. *Construtibilidade e desempenho no projeto de alvenaria estrutural*. IV Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção / I Encontro Latino-Americano de Gestão e Economia da Construção. Porto Alegre, 2005.

REBELLO, Y. C. *A Concepção Estrutural e a Arquitetura*. São Paulo: Zicurate, 2000.

ROCHA, A. P. A. Atualização do Projeto Curricular, 2007 (Não publicado).

ROMERO, A; CORNER, V.; CORBELLA, O. *Determinação do conforto térmico em habitações eficientes: sobre os softwares de simulação disponíveis para arquitetos*. Brasil - Fortaleza, CE. 2007. 10 p. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2007, Fortaleza, CE.

RORIZ, M.;BASSO, A. *ARQUITROP - Guia do usuário*. São Carlos, SP 24 p. Apostila, 1993.

RORIZ, M.;BASSO, A. *ARQUITROP versão 3.0*. São Carlos, SP, 1990.

ROSSO, S. *Alvenaria Estrutural: A gravidade como aliada*. São Paulo: Pini, 1994.

ROSSO, T. *Teoria e prática da coordenação modular*. São Paulo: FAUUSP, 1976.

SANTOS, M. D. *Relatórios técnicos: monitoramento de obras de Alvenaria Estrutural*. Santa Maria, 2004 (Não Publicado).

SILVA, M. S.; ABRANTES, V. *Patologia em Paredes de Alvenaria: causas e soluções*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Lisboa: 2007. Anais...

SOUZA, R. V. G.; PEREIRA, F. O. R. *Módulo didático para avaliação de desempenho térmico de sistemas construtivos*. Brasil - São Paulo, SP. 2004. 11 p. CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2004, São Paulo; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, São Paulo. Anais...

SOUZA, L. C. L.; PIZARRO, P.R. *Analisando a influência da orientação no consumo de energia em um conjunto habitacional*. Brasil - São Pedro, SP. 2001. 8 p. ENCAC (Encontro Nacional, 6 e Encontro Latino-americano sobre o Conforto na Ambiente Construído, 3). Artigo técnico.

THOMAZ, E.; HELENE, P. *Boletim Técnico: Qualidade no Projeto e na Execução de alvenaria estrutural e de alvenaria de vedação em edifícios*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2000.

VASCONCELOS FILHO, A. D. *Análise Estrutural de Edifícios Altos: Cópia de Transparências*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2007.

VILATÓ, R. *Influência do preenchimento das juntas verticais entre componentes no comportamento da alvenaria*. Tese (Doutorado) ESC POLITECNICA, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

Website: Cerâmica ABCD. www.ceramicaabcd.com.br. Acesso em novembro de 2009

Website: Cerâmica Gresca. www.ceramicagresca.com.br. Acesso em novembro de 2009

Website: FK. www.fkct.com.br. Acesso em novembro de 2009.

Website: WINDBLOCK. www.windblock.com.br. Acesso em novembro de 2009