FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO

MARINA ROSA CRESPO

Coordenação Modular:

acepções contemporâneas

São Paulo

2017

MARINA ROSA CRESPO

Coordenação Modular:
acepções contemporâneas

Versão original

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de concentração: Tecnologia da arquitetura

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Claudia Terezinha de Andrade Oliveira

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

E-mail da autora: marina.rosa@gmail.com

C921c Crespo, Marina Rosa
Coordenação modular: acepções contemporâneas / Marina Rosa Crespo. -- São Paulo, 2017.
329 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP.

Orientadora: Claudia Terezinha de Andrade Oliveira

1.Coordenação modular 2.Coordenação dimensional 3.Módulos
4.Padronização dimensional 5.Normalização I.Título

CDU 69.057.11

Nome: CRESPO, Marina Rosa

Título: Coordenação modular: acepções contemporâneas

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento à orientadora prof.^a dr.^a Claudia Terezinha de Andrade Oliveira e ao coorientador prof. dr. Antonio Gil da Silva Andrade pela dedicação, pela experiência e pelo conhecimento que dividiram comigo para que eu encontrasse meu caminho nesta dissertação.

Aos pesquisadores, entre os quais Silke Kapp, Sergio Leusin e Max Andrade, que gentil e prontamente cederam materiais para minha consulta. A contribuição de todos que vieram antes de mim nesse percurso foi essencial e enormemente apreciada.

Dedico esta dissertação à minha família e aos meus amigos queridos.

Especialmente aos meus pais, Duca e Cassio, que sempre me ensinaram com suas palavras e seu exemplo e que me dão força a cada desafio.

RESUMO

CRESPO, Marina Rosa. **Coordenação modular: acepções contemporâneas.** 2017. 329 p. Dissertação (mestrado em arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

A coordenação modular é um sistema para ordenação relativa de dimensões, espaços e componentes construtivos. Sua aplicação tem manifestações remotas por princípios que controlam a composição e fixam escalas convenientes para as partes e o todo, todavia foi a produção seriada industrial que determinou o papel que a disciplina teria no século XX. No Brasil, seu desenvolvimento aconteceu entre as décadas de 1950 e 1970, quando foi determinada a formatação fundamental da disciplina. Identifica-se a partir da década de 1980 um intervalo nas discussões específicas que durou até a virada do século, quando foi recuperado o interesse pela área. É consenso entre os autores que ainda não houve no Brasil sucesso na implantação de modelos abrangentes da coordenação modular, mas faltam análises atualizadas. O objetivo da dissertação – examinar o desenvolvimento da disciplina no Brasil após 1986 – está fundamentado em indícios de que as discussões recentes não se aprofundam em temas atuais e de que há um enfraquecimento de uma visão integrada do problema. As principais conclusões indicam que o desenvolvimento da construção civil vem sendo acompanhado do afastamento da arquitetura de etapas da produção, o que afeta o exercício da coordenação modular e que o programa habitacional e as ações políticas de financiamento foram determinantes para a retomada das pesquisas. Entretanto, há ecos dos modelos estabelecidos pelo setor privado, com ênfase à racionalização e à aplicação de componentes industriais. Diante disso, destaca-se que a coordenação modular, como campo da coordenação dimensional, está ligada às necessidades humanas.

Palavras-chave: Coordenação modular. Coordenação dimensional. Módulos. Padronização dimensional. Normalização.

ABSTRACT

CRESPO, Marina Rosa. **Modular coordination: contemporary acceptations.** 2017. 329 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Modular coordination is a system for relative ordering of dimensions, spaces, and building components. Its application presents remote manifestations through principles that control the design and set suitable scales for the parts and the whole. Nevertheless, the industrial mass production defined the role that the subject would play during the 20th century. In Brazil, its development took place between the 1960s and the 1970s; period that several authors consider decisive in what regards the subject's fundamental formatting. From the 1980s on, the specific debates about the matter went through a gap that lasted until the turn of the century when the interest in the field resurfaced. It is consensual among authors that Brazil still has not been successful to implement comprehensive modular coordination standards, but there is a lack of up-to-date analysis as well. The objective of the dissertation - to examine the discipline's development in Brazil after 1986 - is based on indications that recent discussions are leaving aside current issues and that there is a weakening of an integrated view of the matter. The main conclusions indicate that a dissociation between architecture and construction has accompanied the building industry's development, which affects the application of modular coordination. Moreover, the housing program and the research funding were decisive for the resumption of the field; nonetheless, there are echoes from the models established by the private sector, with emphasis on the rationalization and application of industrial components. In this context, it should be noted that modular coordination, as a field of dimensional coordination, is linked to human needs.

Keywords: Modular coordination. Dimensional coordination. Modules. Dimensional standardization. Standardization.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	PROBLEMA.....	16
1.3	OBJETIVO.....	17
1.4	MÉTODO.....	17
1.5	ESTRUTURA.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1	HISTÓRICO INTERNACIONAL.....	21
2.2	HISTÓRICO NACIONAL	27
2.3	CONCEITOS	36
2.4	DEFINIÇÕES.....	43
2.4.1	Coordenação dimensional.....	43
2.4.2	Coordenação modular.....	43
2.4.3	Módulo básico.....	43
2.4.4	Multimódulo	44
2.4.5	Medida de coordenação	44
2.4.6	Medida nominal.....	44
2.4.7	Ajuste de coordenação	45
2.4.8	Medida real	45
2.4.9	Medida modular	45
2.4.10	Sistema de referência modular.....	45
2.4.11	Espaço amodular	45
2.4.12	Incremento submodular	46
2.4.13	Componentes construtivos modulares	46
2.4.14	Conjuntos modulares	47
2.4.15	Exemplos ilustrados.....	47
3	O OBJETO DA INDÚSTRIA	51
3.1	PADRÕES DIMENSIONAIS	54
3.2	NORMALIZAÇÃO.....	65
3.2.1	Estratégias de implementação	81

3.3	DIMENSIONAMENTO PRATICADO	86
3.3.1	Vedações	87
3.3.1.1	Blocos de concreto	87
3.3.1.2	Blocos cerâmicos	89
3.3.1.3	Drywall	93
3.3.2	Coberturas.....	96
3.3.2.1	Telhas cerâmicas	97
3.3.2.2	Telhas de fibrocimento.....	100
3.3.2.3	Telhas metálicas	104
3.3.3	Esquadrias	108
3.3.3.1	Esquadrias de alumínio	110
3.3.3.2	Esquadrias de aço	112
3.3.3.3	Esquadrias de madeira	115
3.3.4	Revestimentos	119
3.3.4.1	Revestimentos cerâmicos	119
3.3.4.2	Revestimentos melamínicos	123
3.3.4.3	Forros “modulares”	123
3.3.5	Observações finais	127
4	O ESPAÇO DO HOMEM	133
4.1	ORDEM	135
4.2	ERGONOMIA E PERCEPÇÃO	161
4.3	QUALIDADE.....	168
4.3.1	Dimensionamento de esquadrias.....	172
4.3.2	Miniaturização dos espaços	175
4.3.3	Flexibilidade	180
4.3.4	Observações finais.....	192
5	ARQUITETURA DIGITAL	195
5.1	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO	196
5.2	PRODUÇÃO DIGITAL.....	208
5.3	ACEPÇÕES CONTEMPORÂNEAS	219
5.3.1	Condições de união entre componentes.....	222
5.3.2	Informatização e customização.....	225

5.3.3	Flexibilização e customização.....	230
5.3.4	Observações finais.....	239
6	PROJETO MODULAR.....	242
6.1	ABORDAGEM SISTÊMICA.....	243
6.2	INSTRUMENTOS DO MÉTODO.....	256
6.2.1	Sistema de referência modular e multimódulos	257
6.2.2	Posicionamento horizontal dos elementos	264
6.2.3	Posicionamento vertical dos elementos.....	276
6.2.4	Observações finais.....	281
6.3	ASPECTOS ECONÔMICOS E PROGRAMAÇÃO POLÍTICA.....	283
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	301
7.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS	301
7.1.1	Componentes industriais.....	304
7.1.2	Requisitos humanos.....	307
7.1.3	Perspectivas contemporâneas	310
7.1.4	Projeto modular	313
7.2	CONCLUSÕES	315
7.3	SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS	317
	REFERÊNCIAS	318

1 INTRODUÇÃO

A coordenação modular é um sistema para ordenação relativa de dimensões, capaz de associar questões de composição do espaço às técnicas de produção, empregando para tanto uma referência dimensional única, o módulo. Seu entendimento pode ter como ênfase seus objetivos: compatibilizar dimensionalmente os espaços disponíveis e os espaços ocupados (ROSSO, 1976, p. 3) e inter-relacionar grandezas e objetos diferentes (MASCARÓ, 1976). Pode também destacar seu objeto, o módulo, como faz a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010) na NBR 15873 ao defini-la como coordenação dimensional aplicada por meio do uso do módulo básico de 10 cm ou de um multimódulo.

Esta dissertação aborda o desenvolvimento da disciplina de coordenação modular no Brasil após a extinção do Banco Nacional da Habitação (BNH), em 1986. A investigação parte das seguintes premissas identificadas em análise prévia da bibliografia de referência (AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010a; BALDAUF, 2004; BALDAUF; GREVEN, 2007; PEREIRA, 2005):

- a) A formulação da base teórica da coordenação modular no Brasil aconteceu a partir da década de 1950, principalmente entre os anos 1964 e 1986, dirigida pelos investimentos do BNH;
- b) Não houve até hoje no Brasil a implementação da coordenação modular para edificações como sistema dimensionamento integrado de projeto, componentes e construção. Houve experiências bem-sucedidas, mas os resultados são heterogêneos e o panorama técnico nacional continua apresentando perdas significativas associadas à incompatibilidade dimensional;
- c) Pode ser identificada na primeira década deste século uma retomada das pesquisas sobre o tema expressa em publicações específicas.

Pretende-se verificar se houve e quais foram as mudanças na abordagem da coordenação modular nas últimas três décadas, quais foram os principais agentes envolvidos desde a extinção do BNH e como a atuação desses agentes se relaciona com o atual estágio de desenvolvimento da disciplina.

1.1 JUSTIFICATIVA

A coordenação modular, entendida como sistema para ordenação relativa de dimensões e componentes, é relevante para todo o ciclo da produção arquitetônica. As decisões do dimensionamento não são arbitrárias, são produtos de fatores estéticos, técnicos, funcionais, além de condições espaciais preexistentes (CHING, 2002, p. 283). A coordenação modular oferece mecanismos para associar vários desses fatores, estabelecendo relações desejáveis entre as partes e o todo do edifício.

Os fatores técnicos do dimensionamento advindos das características intrínsecas dos materiais e da produção têm sido amplamente investigados pela coordenação modular. Sua racionalidade é apropriada à lógica industrial: se por um lado é capaz de dotar o projeto e a construção dos mesmos benefícios de seriação presentes na indústria, por outro possibilita o uso de componentes industrializados. Por isso, entre todos os benefícios associados a sua aplicação, a racionalização construtiva é o conceito mais presente na bibliografia de referência. A estreita relação entre esses dois conceitos pode ser demonstrada por Espíndola (2010, p. 1), que afirma que a coordenação modular é um princípio fundamental da racionalização; Lucini (2001, p. 22), que define a coordenação modular como instrumento importante para racionalização; e Baldauf (2004, p. 48), segundo quem a racionalização é um objetivo da coordenação modular. A definição oferecida por Pereira (2005, p. 31), “racionalizar a construção significa agir contra os desperdícios de materiais e mão de obra e utilizar mais eficientemente o capital”, indica a importância da racionalização para economia de recursos, apontando relevância econômica, social e ambiental.

O interesse em relação à coordenação modular é também associado ao enfrentamento do déficit habitacional (LACERDA, 2005; PEREIRA, 2005). Há dois aspectos relevantes na origem dessa associação. Em primeiro lugar, quando entendida como ferramenta da racionalização, a coordenação modular possibilita ganhos essenciais para a habitação de interesse social: qualidade, produtividade e economia. A segunda razão, que decorre da primeira, reside no fato de que historicamente a sistematização da coordenação modular foi conduzida junto a esforços para enfrentar o déficit habitacional: a reconstrução do segundo pós-guerra

européu e a explosão populacional urbana no Brasil, com destaque para a atuação do BNH.

É pertinente esclarecer que, embora a relação da coordenação modular com o programa habitacional seja relevante, não é o foco desta dissertação defini-la como instrumento para sanar o déficit habitacional. Considera-se que essa seria uma opção redutora, um direcionamento que conduziria à perda de significado. Seus resultados potenciais são válidos para qualquer programa da arquitetura, mas a relação com a produção de habitação de interesse social carrega um estigma associado à padronização de resultados. Em sua essência, a coordenação modular não é redutora nem padronizadora. Sob outro aspecto, evita-se superestimar o papel da tecnologia diante da complexidade de problema. Entende-se aqui que a coordenação modular pode dotar o processo de projeto e construção de eficiência (produzir melhores produtos com menos insumos), mas em si não soluciona questões sociais, econômicas, de gestão pública e de uso da terra que determinam a produção habitacional.

É consenso entre os autores que ainda não houve no Brasil sucesso na implantação de modelos abrangentes da coordenação modular. Houve experiências bem-sucedidas, mas os resultados são heterogêneos e o panorama técnico nacional continua apresentando perdas significativas associadas à incompatibilidade dimensional (BALDAUF, 2004; BALDAUF, GREVEN, 2007; PEREIRA, 2005). Para Lacerda (2005), o conceito de construtibilidade, especialmente no que concerne à modulação de componentes, vem sendo pouco aplicado. Ribeiro e Michalka (2003) afirmam que muitos dos sistemas construtivos de caráter inovador são aplicados num universo restrito e depois desaparecem. Os aspectos históricos do desenvolvimento da disciplina demonstram que a aplicação da coordenação modular no Brasil sempre esteve sujeita a questões econômicas e políticas.

Lucini (2001, p. 22) avalia que a associação entre coordenação modular e soluções tecnológicas com problemas de desempenho, relacionadas à produção de habitação de interesse social na década de 1970, não contribuiu para sua aceitação pelo mercado privado. Por outro lado, observa que as mudanças econômicas neste século conduziam a um ressurgimento do tema como estratégia para redução de custos e produtividade.

As mudanças econômicas do início do século apontadas por Lucini coincidem com um período de ampla oferta de crédito para habitação de mercado popular e crescimento acelerado da construção civil que reacenderam o interesse em relação à coordenação modular. O tema continua associado à racionalização de processos, à industrialização da construção e ao enfrentamento do déficit habitacional.

Entre as publicações específicas mais recentes, destaca-se a norma técnica NBR 15873 – *Coordenação modular para edificações* (ABNT, 2010b), que substituiu as 26 normas técnicas desenvolvidas pela ABNT em convênio com o BNH de 1969 a 1982. No entanto, a análise dessa norma revela que suas principais contribuições são organização e síntese das informações e correção da terminologia empregada nas normas desenvolvidas 28 anos antes. É passível, portanto, de investigação o real estágio atual de desenvolvimento da disciplina. Será possível afirmar que não houve alteração do entendimento comum do tema?

Baldauf e Greven (2007) afirmam que nos Estados Unidos, no Canadá e em países europeus que adotaram a coordenação modular nas décadas de 1950 e 1960 a disciplina já evoluiu para o que se chama de “conectividade”, que definem como método que utiliza equipamento industriais informatizados para produção de componentes dimensionados de acordo com cada projeto. No Brasil, os autores explicam, as mesmas questões que dificultam a implantação da coordenação modular – desinformação e interesses contraditórios – recaem sobre a conectividade. “O futuro indica uma evolução no desenvolvimento da conectividade entre os componentes, sempre levando em consideração que a coordenação modular é o fundamento de todo o processo” (BALDAUF; GREVEN, 2007, p. 66).

Espíndola (2010, p. 27), baseando-se em Cuperus (2001), também indica a conectividade como evolução dos princípios da coordenação modular, embora dê menos ênfase ao aspecto da automação da produção:

Na coordenação conectiva, segundo a denominação de Cuperus (2001), a importância não está apenas na quantidade de elementos construtivos a serem utilizados, mas também na possibilidade de conectividade entre os diversos elementos e subsistemas. Com esse pensamento, a qualidade da edificação em geral não é apenas determinada pela qualidade das suas partes, mas também pela forma com a qual estas são reunidas e conectadas entre si. Para manter elevado o nível de qualidade, tais conexões devem estar bem definidas e coordenadas, pois só assim dois ou

mais componentes serão posicionados na edificação sem a necessidade de adaptações ou retrabalho.

Deve-se, no entanto, investigar em que medida o conceito de conectividade se diferencia dos princípios da coordenação modular. É possível especular que a conectividade seja uma apropriação parcial de princípios já bem definidos por ela? Rosso (1976, p. 158) já investigava detalhadamente as condições de compatibilização mecânica entre componentes e previa o surgimento de uma indústria própria para resolver a compatibilização associativa.

De fato, podemos observar que, ao passarmos da construção tradicional, caracterizada por um grande número de componentes de pequenas dimensões para a industrializada, caracterizada por um pequeno número de componentes de médias e grandes dimensões, o número e o tipo de juntas tende a diminuir, mas sua complexidade a aumentar. É provável portanto que esta observação determine um rumo original na solução do problema, isto é, que provoque o surgimento de um setor especializado no estudo e no projeto de componentes complementares e também consequentemente de uma indústria especializada na sua produção. É provável portanto também que estes componentes complementares assumindo uma fisionomia própria, passem a ditar as regras para as juntas dos componentes principais, devendo inclusive desempenhar funções atualmente atribuídas a eles.

Já Lucini, no *Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias* (2001, p. 22), sugere um direcionamento diferente, que, em vez da conectividade, reforça a padronização dimensional, a normalização e a atuação da indústria de componentes:

Atualmente, superando a rigidez inicial, a coordenação modular nos países desenvolvidos está dirigida principalmente à definição dimensional de componentes. Incorpora-se na prática produtiva e construtiva a preocupação pela compatibilização dimensional, derivada em grande parte do esforço de incentivo à padronização e normalização dirigidas à produção de habitações através de sistemas construtivos abertos, com grande participação de produtores e componentes diferenciados [...].

A relevância do trabalho de Lucini é confirmada por Baldauf e Greven (2007), que o apontam como um dos avanços recentes no setor. Nota-se, no entanto, que a diferença de perspectiva neste caso pode relacionar-se à diferença de origem, dado que o trabalho de Lucini é uma iniciativa da Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de alumínio (Afeal), por meio do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SindusCon-SP) e da Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA).

Esse fato conduz a uma observação final: o reconhecimento de que existem interesses diferentes entre os intervenientes da construção civil justifica a verificação dos agentes envolvidos na promoção da coordenação modular. É necessária uma investigação atual para que as novas pesquisas assumam um posicionamento adequado diante dos desafios que enfrentam.

1.2 PROBLEMA

O problema desta dissertação se constrói sobre duas observações preliminares acerca da coordenação modular que foram obtidas a partir da revisão bibliográfica e da vivência profissional da autora:

a) Defasagem das discussões

A partir do início do século XXI, o esforço de retomada das pesquisas teóricas tem apresentado resultados insuficientes ao não se debruçar sobre questões recentes, repetindo “fórmulas” consolidadas nas décadas de 1960 e 1970.

b) Enfraquecimento de uma abordagem integrada

A recuperação das “fórmulas” acontece de modo parcial, pois abandona conceitos essenciais à prática arquitetônica.

Há indícios de que, após o fim de pesquisas financiadas por estruturas políticas específicas (com destaque para o BNH, extinto em 1986), a coordenação modular tenha se afastado do domínio dos arquitetos. Construtoras, incorporadoras e indústria de componentes teriam assumido um papel de destaque na determinação do dimensionamento na construção civil que compromete a qualidade geral dos espaços. Nas últimas três décadas, a ausência de uma perspectiva integrada e a dispersão das pesquisas teriam conduzido a desvios no entendimento. A normalização de produtos industriais como principal estratégia de implantação; o predomínio de pesquisas desenvolvidas no universo de sistemas construtivos isolados; a redução de custos de produção como maior atributo – essas seriam manifestações de uma desatenção à lógica sistêmica da coordenação modular.

É necessário recuperar o sentido da disciplina, que durante o movimento moderno fazia parte de discussões amplas – técnicas, estéticas, econômicas e sociais – da arquitetura, e a partir disso entender qual é seu papel diante das questões que surgiram nas décadas posteriores.

Essa investigação é direcionada pela formulação de duas perguntas: o que caracteriza a coordenação modular a partir de 1986? E como ela se relaciona com as transformações ocorridas na arquitetura e na construção desde então?

1.3 OBJETIVO

Examinar o desenvolvimento da disciplina de coordenação modular em edificações no Brasil após 1986.

1.4 MÉTODO

A partir do objetivo geral, a pesquisa define-se como descritiva. “As pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição de características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relação entre variáveis” (GIL, 2002, p. 42). Ainda que, segundo seu objetivo geral, seja definida como descritiva, esta dissertação proporciona igualmente uma nova visão sobre o problema, aproximando-se também de uma pesquisa exploratória (GIL, 2002, p. 42).

A abordagem é qualitativa, apoiada na interpretação dos fenômenos e na atribuição de significados, não aplicando métodos estatísticos (MENEZES; SILVA, 2005, p. 20). Os dados são investigados pelo método dialético, uma vez que entende-se que os fatos não podem ser interpretados fora de contexto socioeconômico, político, técnico e do recorte histórico (MENEZES; SILVA, 2005, p. 27).

A delimitação do recorte histórico para esta dissertação partiu de observações feitas logo na aproximação inicial e está diretamente ligada à formulação do problema. Identificou-se que as principais referências bibliográficas específicas datam da década de 1970 ou remetem-se diretamente ao conteúdo então publicado. Originou,

dessa forma, a investigação sobre os novos aspectos que a disciplina poderia ter assumido em décadas mais recentes. A dissertação adota como marco do recorte histórico o ano 1986, data da extinção do BNH, que havia sido um dos principais promotores da coordenação modular na década anterior. É pertinente, no entanto, apontar que as décadas de 1980 e 1990 foram marcadas por transformações significativas em diversas esferas – debates sobre a validade dos preceitos modernos na arquitetura; abertura política e liberalismo econômico; e consolidação de uma sociedade pós-industrial ligada à cultura digital. Porque a delimitação do recorte histórico está fundamentada no conjunto desses fatores, são mais importantes faixas de transformação gradual do que datas precisas de início e conclusão.

O procedimento para coleta de dados é a pesquisa bibliográfica. A bibliografia específica sobre coordenação modular elaborada até a década de 1980 é extensa. Todavia, o tema desaparece das publicações na década de 1990, havendo uma retomada progressiva após o ano 2000. As referências específicas mais recentes consistem em pesquisas acadêmicas (artigos, dissertações e teses) e publicações financiadas pelo governo federal relacionadas à atualização da normalização específica (NBR 15873:2010). As referências bibliográficas estrangeiras auxiliam à compreensão dos fenômenos nacionais estudados, seja por pela correlação entre acontecimentos, seja por explicitar aspectos em que as discussões nacionais diferem-se das do exterior. Não constituem, entretanto, uma pesquisa integral do panorama internacional.

A revisão inicial da literatura verificou que o tema da coordenação modular pode ser explorado sob óticas diversas, que foram, nesta dissertação, organizadas em quatro unidades de análise relacionadas a temas mais amplos: os componentes industriais, os requisitos humanos, as perspectivas contemporâneas oferecidas pelas ferramentas digitais e o projeto modular. A definição das unidades de análise surgiu como forma de aproximação e sistematização devido à complexidade dos conteúdos, mas se tornou uma estratégia importante para o método de investigação. A estratégia de relacionar os diferentes aspectos da disciplina a conteúdos mais amplos permite duas operações para obtenção de dados a partir da pesquisa bibliográfica não específica:

- a) explorar a relação da coordenação modular com outros temas e, assim, contextualizá-la;
- b) rastrear, por meio dos temas correlatos, novas manifestações da coordenação modular.

A investigação construída sobre cada uma das unidades de análise identifica nos temas correlatos manifestações que conduzem a conclusões gerais sobre as transformações pelas quais passou a disciplina. Assim, a pesquisa também coloca as mudanças no conteúdo e na abordagem da coordenação modular em conjunto à transformação da atividade do arquiteto no período do recorte histórico.

Quando pertinente, exemplos são apresentados como material de apoio para compreensão das discussões teóricas construídas a partir da pesquisa bibliográfica. Eles são, entretanto, fortemente relacionados ao contexto do estudo e não constituem por si uma casuística, ou seja, seus resultados não podem ser generalizados.

1.5 ESTRUTURA

Para a compreensão global do trabalho, segue descrita sua estrutura, com a organização das sete seções e o respectivo conteúdo.

A Seção 1, “Introdução”, faz a apresentação da pesquisa incluindo justificativa, problema, objetivo, método e estrutura do trabalho.

A Seção 2, “Referencial teórico”, caracteriza o tema da coordenação modular em suas bases conceituais e históricas. Os históricos nacional e internacional apresentam os principais eventos e os agentes que conduziram à estruturação da disciplina. A subseção “Conceitos” explora o significado da coordenação modular examinando as interpretações empregadas por diferentes autores, enquanto a subseção “Definições” apresenta a terminologia essencial para a compreensão da dissertação.

As Seções de 3 a 6 investigam a coordenação modular mediante as quatro unidades de análise identificadas no método: Seção 3 – “O objeto da indústria”; Seção 4 – “O espaço do homem”; Seção 5 – “Arquitetura digital”; e Seção 6 – “Projeto modular”.

A Seção 7, “Considerações finais”, examina as conclusões obtidas em cada uma das unidades de análise para a verificação das transformações pelas quais passou a disciplina. São também feitas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A presente seção apresenta os aspectos históricos e conceituais da coordenação modular.

As subseções referentes ao desenvolvimento internacional e nacional relacionam os eventos que levaram à estruturação da disciplina e basearam a formulação do recorte histórico desta dissertação. Para uma abordagem mais completa do tema, recomenda-se a consulta de Baldauf (2004).

Na terceira e quarta subseções, são apresentados os conceitos e as definições necessários para a problematização central e para compreensão das quatro abordagens por meio das quais desenvolve-se a investigação. Algumas definições omitidas aqui são apresentadas nas seções posteriores conforme se mostram pertinentes para a construção de análises específicas. É importante esclarecer que estas subseções não têm como objetivo esgotar os aspectos teóricos que fundamentam a disciplina. Uma apresentação mais detalhada pode ser consultada em “Teoria e prática da coordenação modular” (ROSSO, 1976); já definições sintéticas e ilustradas podem ser obtidas na NBR 15873 – *Coordenação modular para edificações* (ABNT, 2010b).

2.1 HISTÓRICO INTERNACIONAL

Sistemas de coordenação dimensional podem ser identificados em diferentes culturas desde a Antiguidade. Para Lucini (2001), sob uma perspectiva histórica, o desenvolvimento da coordenação modular está associado à uniformização das técnicas e das tipologias construtivas e à produção padronizada de componentes variados como, por exemplo, tijolos e blocos de pedra. Mas, a partir de outros autores, é possível compreender que as manifestações de coordenação modular ao longo do tempo variaram de acordo com a ênfase dada, ora a aspectos técnicos, ora a aspectos compositivos, vinculando-se ao conjunto da produção arquitetônica de um grupo ou período. Para os gregos, a proporção dos elementos era expressão da beleza e da harmonia (CHING, 2002). Na cultura romana, manifestou-se um caráter funcional por meio da padronização dos componentes executados segundo uma

modulação que considerava a espessura das juntas e a sobreposição das peças (CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO BOUWCENTRUM¹, 1972 apud BALDAUF, 2004, p. 28). Na cultura japonesa, o *ken*, unidade de medida que determinava a separação entre os eixos das colunas, evoluiu até se tornar um módulo que regia estrutura, materiais e espaços (BALDAUF, 2004, p. 29). Baldauf (2004, p. 23) trata dos diferentes aspectos que caracterizam o problema ao explicar que a “utilização do módulo em uma retrospectiva na história da Arquitetura leva à interpretação clássica dos gregos, sob um caráter estético; dos romanos, sob um caráter estético-funcional e dos japoneses, sob um caráter funcional”.

Foi, todavia, a Revolução Industrial que determinou o papel que a disciplina teria no século XX: a produção seriada trouxe novo entendimento das possibilidades da padronização, carregando também o símbolo do progresso. Nesse contexto, o Palácio de Cristal, projetado por Joseph Paxton e construído entre 1850 e 1851 para a Exposição Universal de Londres, foi, segundo Rosso (1976), a primeira aplicação moderna da coordenação modular. A obra já demonstrava a importância da compatibilização dimensional e do estudo dos vínculos para a aplicação na construção de produtos industriais produzidos em série. Para a construção do pavilhão, o tamanho máximo das placas de vidro (8 pés ou aproximadamente 240 cm) determinou a escolha do módulo que serviu para correlacionar outros elementos construtivos pré-fabricados (a estrutura metálica e as esquadrias de madeira) por meio de um reticulado de múltiplos (LACERDA, 2005). Baldauf (2004, p. 24) explica no excerto reproduzido a seguir o significado do Palácio de Cristal para o desenvolvimento posterior da coordenação modular:

Construtivamente o Palácio de Cristal representa uma síntese de componentes estudados separadamente e coordenados entre si por uma rede modular; o espaço resultante da somatória de elementos padronizados e industrializados era fruto perfeito da tecnologia empregada e do estudo racional dos vínculos, dos limites econômicos e de tempo, dos condicionantes técnicos de produção e montagem. O Palácio de Cristal, na sua integridade de obra-de-arte, exprime a essência do próprio tempo, antecipando em cem anos a problemática que os arquitetos e engenheiros do pós-guerra na Europa deveriam enfrentar com a industrialização da construção, como a substituição da dimensão métrica pela dimensão modular, a produção padronizada dos componentes e também a consideração das necessidades econômicas, funcionais e técnicas.

¹ CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO BOUWCENTRUM. **Noticiário da coordenação modular**, São Paulo: BNH/CBC, n. 26/27, jan/fev. 1972.

Ao Palácio de Cristal seguiram-se outros exemplos práticos, como a estação de Midland em Oxford (Inglaterra) em 1852 ou as casas pré-fabricadas na cidade de Cheyenne (Wyoming, Estados Unidos) em 1867 (BALDAUF, 2004). Entretanto, o reconhecimento do tema por meio de estudos específicos deu-se apenas na terceira década do século XX, quando a evolução acentuada dos vários setores da indústria e as profundas alterações econômicas dela advinda incidiram diretamente sobre o sistema produtivo da construção civil. A padronização dos componentes era uma urgência contra os altos custos e os longos prazos da construção (BALDAUF, 2004, p. 25).

Vários foram os expoentes que apresentaram desenvolvimento concreto no campo da pré-fabricação e da industrialização da construção durante a primeira metade do século XX. Entre eles, pode-se destacar o trabalho de Gropius na Weissenhof de Stuttgart (1927) e na Casa ampliável (1932), assim como o Modulor (1949) de Le Corbusier (BALDAUF, 2004; ROSSO, 1976). Porém, Baldauf (2004) e Rosso (1976) compartilham a mesma visão ao afirmar que foi Alfred Farwell Bemis, em 1936, o responsável pelos primeiros fundamentos da teoria da coordenação modular, a qual chamou de *Cubical Method of Design*. Rosso (1976) considera que o axioma de Bemis – “todos os objetos que satisfaçam à condição de possuírem dimensões múltiplas de uma medida comum, são comensuráveis entre si e, portanto, também o são em relação à construção, que integrados passam a formar” – é a primeira formulação correta de uma teoria da aplicação do módulo-objeto voltada para as necessidades da indústria.

O conteúdo do trabalho de Bemis foi base teórica para o desenvolvimento de estudos posteriores na Europa e na América do Norte. Assim, já em 1938 a *American Standard Association* (ASA) iniciou um estudo para coordenação dimensional de componentes construtivos (LACERDA, 2005). Em 1942, a França se tornou o primeiro país a ter uma norma de coordenação modular nacional.

Seguiram-se a ela os Estados Unidos em 1945, a Suécia em 1946 e a Bélgica em 1948 (LISBOA, 1970² apud BALDAUF, 2004, p. 37).

Enquanto a maioria das normalizações nacionais sinalizavam a tendência da modulação decimétrica (módulo de 10 cm ou 4 polegadas), a Alemanha constituiu um exemplo diferenciado dos demais países europeus. Em 1943, durante a Segunda Guerra, o arquiteto alemão Ernst Neufert, já envolvido nas questões de reconstrução do país, apresentou em seu livro *Bauordnungslehre* um sistema de coordenação dimensional octamétrico, baseado no módulo de 12,5 cm (1/8 m) que tinha como característica não alterar substancialmente as medidas dos tijolos tradicionais alemães (CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO BOUWCENTRUM, 1971a apud BALDAUF, 2004, p. 37). De acordo com Rosso (1976, p. 18), a repercussão das pesquisas de Neufert foi tão extensa que resultou na primeira norma alemã sobre coordenação modular, a DIN 4172³ publicada na década de 1950⁴. De sua publicação até 1965, mais de 50% de todas as construções realizadas na Alemanha obedeceram ao sistema octamétrico, indicando a eficácia da normalização aplicada no país (ROSSO, 1976).

A partir da Segunda Guerra Mundial, o aumento da troca de mercadorias entre os países tornou imprescindível a padronização internacional de dimensões para os componentes das edificações (BALDAUF, 2004). Além disso, a reconstrução no pós-guerra acentuou a demanda por elementos pré-fabricados que auxiliassem na rapidez e na redução de custos das construções (LUCINI, 2001). “Desde então [meados da década de 1940], o estudo e a aplicação da coordenação modular assumiram um caráter universal e passaram a ser conduzidos em nível de cooperação internacional.” (ROSSO, 1976).

² LISBOA, Ministério das Obras Públicas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. **Racionalização do processo de projecto 1 – coordenação dimensional modular**: princípios e aplicações. Lisboa: Ministério de Obras Públicas, 1970.

³ DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4172**: Maßordnung im Hochbau. Berlin, 1955.

⁴ Há um conflito de informações sobre a data de publicação da norma DIN 4172. Rosso (1976) menciona o ano de 1950, Baldauf (2004) o ano de 1951, porém a data indicada na própria norma é 1955. Cabe também mencionar que esta norma teve uma nova versão publicada no ano de 2015.

No Quadro 1 apresenta-se a organização cronológica baseada em Rosso (1976) para os principais eventos que marcaram o desenvolvimento da coordenação modular após a Segunda Guerra Mundial.

Quadro 1 - Marcos para coordenação modular após a Segunda Guerra

1949	Início dos trabalhos da Agência Europeia de Produtividade (AEP) ⁵ sobre o projeto 174 <i>La coordination modulaire</i> ;
1956	Publicação do primeiro relatório sobre o Projeto AEP 174;
1960	Constituição do <i>International Modular Group</i> (IMG), entidade que absorve os grupos de trabalho da AEP, do Comecon (órgão econômico dos países socialistas da Europa Oriental) e do Comitê ISO TC/39;
1960	Integração do IMG no <i>Conseil International Du Bâtiment</i> (CIB)
1961	Publicação do segundo relatório sobre o Projeto AEP 174;
1967	Publicação pelo IMG dos <i>Condensed Principles of Modular Coordination</i> .

Fonte: adaptado de Rosso (1976).

Dentre as experiências desenvolvidas por diversos países, destaca-se a criação da Agência Europeia de Produtividade (AEP), responsável por organizar um plano para o estudo da coordenação modular em âmbito internacional (BALDAUF, 2004, p. 27; LACERDA, 2005). Em 1956, como resultado de uma reunião realizada em Munique no ano anterior, foi publicado o primeiro relatório sobre o Projeto AEP 174, que recomendava a aplicação do módulo de 10 cm para os países que utilizavam o “sistema métrico” e de 4 polegadas para os que utilizavam o sistema pé-polegada (BALDAUF, 2004, p. 42). Conforme o Quadro 2, onde se encontra apresentada a ordem de publicação das normas sobre coordenação modular e o módulo-base adotado em diferentes países, a Alemanha foi a única exceção ao uso do módulo de 10 cm ou 4 polegadas recomendado pela AEP.

⁵ Notou-se uma discordância entre o ano de 1949, apresentado por Rosso (1976), e o ano de 1953 relatado por Baldauf (2004) e Lacerda (2005), para o início dos trabalhos da AEP. No entanto, considera-se para a presente pesquisa que a importância dos dados apresentados por Rosso (1976) consiste no entendimento da evolução alcançada no período e, portanto, não se discute a validade das datas específicas.

Quadro 2 – Publicação das primeiras normas de coordenação modular

País	Módulo	Ano
França	10 cm	1942
Estados Unidos	4 polegadas	1945
Bélgica e Finlândia	10 cm	1948
Itália e Polônia	10 cm	1949
Brasil	10 cm	1950
Alemanha	12,5 cm e 10 cm	1951
Bulgária, Hungria e Noruega	10 cm	1951
Suécia	10 cm	1952
Portugal	10 cm	1953
União Soviética	10 cm	1954
Grécia	10 cm	1955
Romênia	10 cm	1956
Áustria	10 cm	1957
Dinamarca e Iugoslávia	10 cm	1958
Tchecoslováquia	10 cm	1960
Bielorússia	10 cm	1962
Holanda	10 cm	1965
Inglaterra	4 polegadas	1966

Fonte: adaptado de Technische Hochschule Hannover (1967⁶ apud BALDAUF, 2004, p. 44).

Em 1961 foi publicado o segundo relatório sobre o Projeto AEP 174 que tratou do módulo-base, das dimensões preferenciais (eleição de múltiplos preferidos), das dimensões inferiores ao módulo (incremento submodular), da adaptabilidade dos materiais a um sistema modular único e da teoria das tolerâncias (BALDAUF, 2004, p. 44).

A hegemonia do sistema decimétrico de coordenação modular confirmou-se quando a Inglaterra, em 1972, passou a adotar o “sistema métrico” de medidas (BALDAUF, 2004, p. 45), e a Alemanha, em 1976, publicou uma nova norma nacional, a DIN 18000: *Modulordnung im Bauwesen*, baseada no sistema decimétrico (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1984⁷ apud BALDAUF, 2004, p. 45).

Rosso (1976, p. 19) encerra suas considerações sobre o desenvolvimento internacional da coordenação modular com a seguinte afirmação:

No decorrer destes anos [até o início da década de 1970] quase todos os países culturalmente mais adiantados, adotaram a coordenação modular de

⁶ TECHNISCHE HOCHSCHULE HANNOVER. Massordnung im Bauwesen: Stand in den ECE-Ländern. In: **Lehrgebiet für Präfabrikation im Bauwesen**. 1967.

⁷ DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 18000**: Modulordnung im Bauwesen. Berlim, 1984.

forma voluntária ou compulsória, inclusive o Brasil, que situa-se entre os precursores, publicando em 1950 a NB-25R 'Modulação das Construções' reformulada em 1969.

Baldauf (2004, p. 46) também termina sua análise histórica no início da década de 1970, quando, segundo ela, a teoria da coordenação modular teve uma formatação mais definitiva. É possível, todavia, fazer referência a Lucini (2001, p. 22), que sinaliza uma perspectiva mais atual:

Atualmente, superando a rigidez inicial, a coordenação modular nos países desenvolvidos está dirigida principalmente à definição dimensional de componentes. Incorpora-se na prática produtiva e construtiva a preocupação pela compatibilização dimensional, derivada em grande parte do esforço de incentivo à padronização e normalização dirigidas à produção de habitações através de sistemas construtivos abertos, com grande participação de produtores e componentes diferenciados [...].

A análise de Lucini (2001) sugere o sucesso da normalização para a coordenação modular nos países desenvolvidos ao ter sido incorporada pela indústria dos componentes construtivos, fato destacado pela menção dos sistemas construtivos abertos. Registra-se, no entanto, uma lacuna na bibliografia nacional ao tratar destas últimas décadas de desenvolvimento para explicar de forma mais completa a descrição de Lucini (2001). Embora, conforme declarou Rosso (1976), o campo teórico (nacional e internacional) já estivesse consolidado na década de 1970, Lucini (2001) indica que existiram avanços mais recentes no campo prático que não foram acompanhados pelo cenário nacional.

2.2 HISTÓRICO NACIONAL

Conforme Pereira (2005), até meados do século XIX, o processo construtivo no Brasil era caracterizado pela aplicação de materiais locais submetidos a condições de trabalho coloniais. As primeiras alterações na tecnologia construtiva nacional começaram a partir do adensamento dos centros urbanos e do surgimento de mercado para a construção civil, advindo da expansão econômica da atividade cafeeira (PEREIRA, 2005, p. 9). Assim, no final do século XIX, com a multiplicação das olarias em torno de São Paulo, os tijolos tornaram-se os primeiros materiais de

construção industrializados nacionais, substituindo o processo artesanal da taipa (VARGAS, 1991⁸ apud PEREIRA, 2005, p. 10).

Acompanhando o processo internacional, as mudanças mais significativas no campo da coordenação modular tiveram início também depois da Segunda Guerra Mundial, quando, em decorrência de profundas alterações econômicas e industrialização, o país viveu o agravamento da crise habitacional. Nesse período, segundo Pereira (2005, p. 10), a produção de habitações multifamiliares procurou aproximar a produção de edifícios do modelo fabril, visto como resposta à necessidade de produção em escala. Seguindo os avanços estabelecidos na América do Norte e na França, em 1946 foi criada, na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), uma comissão para tratar da modulação das construções no país. O resultado do trabalho desta comissão foi publicado em 1950 através da norma NB25-R *Modulação das Construções*. A partir dessa publicação, o Brasil tornou-se o sétimo país a possuir uma norma de coordenação modular para edificações (BALDAUF, 2004, p. 67; LACERDA, 2005, p. 28).

Porém, segundo Baldauf (2004), o avanço inicial não surtiu resultados a curto prazo. De acordo com a autora, ao contrário dos demais países, o Brasil não disponibilizou recursos suficientes para que os primeiros estudos fossem levados a diante (BALDAUF, 2004, p. 68). É possível estabelecer uma relação entre a interrupção nos avanços e as dificuldades econômicas enfrentadas de 1955 a 1964, quando o país atravessou “uma fase de obstrução da acumulação devido à falta de uma estrutura financeira para a produção” (WERNA, 1993⁹ apud PEREIRA, 2005, p. 13).

A retomada dos avanços na década seguinte coincide com um novo período de crescimento econômico, refletido em altos níveis de atividade no setor da construção (PEREIRA, 2005, p. 13). Pereira (2005, p. 13) relata que os anos entre 1964 e 1968 foram caracterizados pela intervenção do governo na economia e ajustes na nova estrutura de desenvolvimento, que proporcionaram um notável período de crescimento econômico. O ano de 1964 foi marcado pela criação do Banco Nacional

⁸ VARGAS, N. Racionalização: o desafio da construção civil. Apontamentos do curso promovido pela ASSECON/CE, Fortaleza, 1991.

⁹ WERNA, E. **As políticas urbanas das agências multilaterais de cooperação internacional para países em desenvolvimento**. São Paulo, SP. 1993.

da Habitação (BNH), principal instrumento do Governo na promoção habitacional e coordenação modular no Brasil (BALDAUF, 2004, p. 63).

A respeito dos objetivos do BNH, a autora apresenta a seguinte descrição:

[...] o BNH estava disposto a promover e estimular a redução do custo da habitação e a melhoria dos padrões habitacionais através da racionalização do trabalho e do treinamento e assistência técnica às indústrias de construção civil e de materiais de construção, além de promover também estudos e pesquisas que permitissem o melhor planejamento e programação do desenvolvimento urbano, assim como o progresso tecnológico das indústrias da construção civil e de materiais de construção. (BNH, [19--]¹⁰ apud BALDAUF, 2004, p. 65)

Em 1965, durante o 2º Seminário de Materiais de Construção organizado em Caracas pelo Comitê Pan-Americano de Normas Técnicas (Copant), o Brasil defendeu o conteúdo da norma técnica brasileira de coordenação modular. Resultou desse seminário a aprovação do *Proyecto 1º de Recomendación COPANT/SC 3:11-001*, que foi, em 1969, base para a revisão da norma NB25-R, publicada pela ABNT como NB-25 *Coordenação Modular da Construção – bases, definições e condições básicas* (BALDAUF, 2004, p. 69).

Em 1969, o BNH, em colaboração com a ABNT, contratou o Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (CBC) para a formulação de um Plano de Implantação da Coordenação Modular da Construção. Esse contrato tornava o CBC responsável por elaborar uma sistemática básica para a coordenação modular aplicável às condições peculiares do Brasil. Os resultados dos trabalhos do CBC integraram um conjunto amplo de estratégias e ações, desenvolvidas a partir de pesquisas sobre as iniciativas internacionais e junto à indústria nacional, registradas em relatórios de diferentes etapas (BALDAUF, 2004, p. 70).

Segundo Baldauf (2004, p. 72-73), no desenvolvimento do relatório da primeira etapa do Plano de Implantação da Coordenação Modular foi frequente a referência à norma brasileira NB-25. Neste relatório, “Duas foram as condições consideradas como garantia para a eliminação da casualidade no ato construtivo: o respeito às normas e a unificação dos cadernos de encargo e das especificações básicas”

¹⁰ BNH. **Plano nacional de habitação popular**: planhab. Brasília: BNH, [19--].

(BNH; CBC, 1970a¹¹ apud BALDAUF, 2004, p. 73). Tratando da unificação das especificações, foi declarado oportuno que a NB-25 fosse levada ao conhecimento de todas as comissões da ABNT responsáveis pelas normas para materiais de construção para evitar exigências em desacordo com os requisitos da coordenação decimétrica. Ao abordar a questão do respeito às normas, o relatório afirma ser competência da ABNT estipular as medidas necessárias para exigir das indústrias a obediência à padronização dimensional (BNH; CBC, 1970a¹² apud BALDAUF, 2004, p. 73). As medidas para estabelecer essa obediência são apresentadas no trecho do relatório do CBC, transcrito por Baldauf:

A este respeito parece-nos oportuno que o próprio Banco [Banco Nacional da Habitação] assuma uma posição mais radical, especialmente no que tange aos financiamentos para aquisição de equipamentos industriais e no que diz respeito à sua importação quando nosso mercado não pode fornecê-los. Nos dois casos, a condição que os produtos sejam numa primeira etapa obrigatoriamente dimensionados no sistema métrico e numa segunda etapa a de que sejam modulares, poderá ser exigida através de instrumentos legais adequados, no âmbito dos programas FIMACO [Programa de Financiamento de Materiais de Construção] e REGIR [Refinanciamento de Capital de Giro das Empresas Produtoras de Material de Construção] e na esfera de ação do CDI [Conselho de Desenvolvimento Industrial] e do BNDE [Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico]. (BNH; CBC, 1970a¹³ apud BALDAUF, 2004, p. 74)

Compôs também o Plano de Implantação, uma pesquisa junto à indústria de materiais e componentes sobre sua capacidade de adaptação à coordenação modular (BALDAUF, 2004, p. 82-83). As indústrias que já produziam componentes adequados foram questionadas sobre os problemas encontrados para essa adequação. Os problemas apontados em primeiro lugar foram os projetos arquitetônicos não modulares que necessitavam de adaptação. Em segundo lugar, frequentemente os componentes eram fabricados sob encomenda para atender às dimensões fora da padronização. Ainda foram ressaltadas as dificuldades relacionadas à dualidade dos sistemas de medida, considerados os equipamentos, materiais e patentes estrangeiros dimensionados em pé-polegada. A esse respeito, identificou-se que, embora a maioria das indústrias tivesse procedido à conversão

¹¹ BNH; CBC. **Plano de Implantação da Coordenação Modular da Construção**. BNH/CBC, 1a etapa, 20 jan. 1970a.

¹² BNH; CBC. **Plano de Implantação da Coordenação Modular da Construção**. BNH/CBC, 1a etapa, 20 jan. 1970a.

¹³ BNH; CBC. **Plano de Implantação da Coordenação Modular da Construção**. BNH/CBC, 1a etapa, 20 jan. 1970a.

para unidades métricas, “o vício de origem era apenas dissimulado, revelando-se, em seguida, [o dimensionamento em pé-polegada] nas frações adotadas, sempre em milímetro” (BNH; CBC, 1970a¹⁴ apud BALDAUF, 2004, p. 73).

Com relação ao estudo e ao projeto dos componentes, Baldauf (2004, p. 77, 83) relata que o Plano de Implantação tinha como objetivo alcançar uma padronização tipológica e dimensional. Já ao abordar o projeto de edifícios, pretendia-se estabelecer regras para a aplicação adequada dos componentes a serem utilizados. Assim, na segunda etapa dos trabalhos foram estudados detalhadamente:

- a) componentes modulares: paredes externas e internas;
- b) componentes modulares: coberturas e forros;
- c) componentes modulares: acabamentos;
- d) componentes modulares: elementos secundários em pares (portas e janelas de madeira, caixilhos metálicos e vidros);
- e) componentes modulares: serviços;
- f) aproveitamento racional da madeira;
- g) projeto modular;
- h) juntas para componentes;
- i) controle estatístico de qualidade e ajustes de tolerâncias;
- j) séries numéricas.

Os dados referentes às dimensões modulares resultantes dos estudos do Plano de Implantação integraram a Proposta para Dimensões de Componentes Modulares que pode ser consultada no Apêndice A da obra de Baldauf (2004). Em conjunto com a proposta das dimensões modulares dos componentes, resultaram, dos estudos do CBC, 27 projetos de novas normas e propostas de alteração de normas já existentes (BALDAUF, 2004, p. 84).

A partir de 1969 o apoio do BNH foi decisivo ao realizar uma série de convênios com a ABNT, possibilitando que a Comissão de Coordenação Modular elaborasse

¹⁴ BNH; CBC. **Plano de Implantação da Coordenação Modular da Construção**. BNH/CBC, 1a etapa, 20 jan. 1970a.

normas complementares à NB-25. No período que vai de 1977 a 1982 foram produzidas um total de 26 normas técnicas brasileiras que trataram da coordenação modular para edificações (LACERDA, 2005, p.30).

Essas normas foram as últimas publicações em prol da implantação da coordenação modular no Brasil (BALDAUF, 2004, p. 98), antes de um intervalo que ocorreria ao longo das décadas de 1980 e 1990. Pereira explica que, sob uma perspectiva econômica, as altas taxas de juros internacionais no início dos anos de 1980 provocaram a dívida que ocasionou uma crise com estagnação econômica e explosão inflacionária (BAER, 1996¹⁵ apud PEREIRA, 2005, p. 13). Os efeitos da recessão econômica nacional resultaram na extinção do BNH em 1986, até então o principal incentivador da coordenação modular (BALDAUF, 2004, p. 65).

Na primeira década deste século, o aquecimento do mercado da construção civil, com destaque para o financiamento no setor de habitação de interesse social e de mercado popular, coincide com um interesse renovado para o tema da coordenação modular, identificado pelo ressurgimento de publicações específicas.

A primeira publicação significativa do período foi, em 2001, o *Manual técnico de modulação de vãos e esquadrias* (LUCINI, 2001). O manual, como já esclarecido, foi uma iniciativa conjunta da Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de Alumínio (Afeal), da Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA) e do Sindicato das Indústrias de Construção de São Paulo (Sinduscon-SP) para a modulação de vãos construtivos nas edificações e a definição de dimensões preferenciais para o desenvolvimento de sistemas de esquadrias. Baldauf e Greven (2007, p. 60-63) consideram que este manual veio suprir, no setor de esquadrias, a deficiência que persistia (e persiste) na normalização nacional para coordenação modular, por não haver especificação de medidas preferidas ou preferíveis para os componentes construtivos.

Em 2006, a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) lançou uma chamada pública de projetos de pesquisa no âmbito do Programa de Tecnologia de Habitação (Habitare). Seu edital disponibilizava R\$

¹⁵ BAER, W. A. **Economia brasileira**. São Paulo: Ed. Nobel, 1996.

3,5 milhões para o financiamento de projetos inseridos em duas linhas de pesquisa diferentes, sendo uma delas voltada para a coordenação modular e a conectividade (FINEP, 2006). Projetos de oito instituições foram aprovados nessa linha e juntos formaram a *Rede colaborativa de pesquisa sobre coordenação modular* (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, p. 8; AMORIM; KAPP; EKSTERMAN; 2010, p. 10). Os projetos selecionados e os coordenadores que representaram cada instituição na rede colaborativa seguem no Quadro 3.

Quadro 3 - Integrantes e projetos da Rede colaborativa de pesquisa

INSTITUIÇÃO	COORDENADOR – ÁREA	PROJETO
UFAL – Universidade Federal de Alagoas	Aline da Silva Ramos Barboza – Engenharia Civil	Coordenação modular e conectividade aplicada a alvenaria de blocos em alternativas tipológicas de habitação de interesse social no Nordeste do Brasil.
UFC – Universidade Federal do Ceará	Alexandre Araújo Bertini – Engenharia Civil	Habitações sustentáveis com melhoria dos processos tradicionais.
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais	Silke Kapp – Arquitetura e Urbanismo	Interface digital de apoio à produção de moradias: princípios, componentes e processos para a construção coordenada modularmente.
UFPB – Universidade Federal da Paraíba	Normando P. Barbosa – Engenharia Civil	Sistema construtivo modular com blocos de gesso.
UFPR – Universidade Federal do Paraná	Aguinaldo Santos – Desenho Industrial	Kits faça-você-mesmo coordenados modularmente para cobertura e mobiliário/divisória de habitações de interesse social.
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Denise Dal Molin – Engenharia Civil	Transferência de tecnologia de materiais para produção de novos produtos para a construção de Habitação de Interesse Social: desenvolvimento de componentes.
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina	Humberto Ramos Roman – Engenharia Civil	Conectividade de sistemas construtivos para Habitação de Interesse Social concebidos com diferentes materiais e tecnologias com foco na coordenação modular.
USP – Universidade de São Paulo	Vanderley Moacyr John – Engenharia Civil	Soluções tecnológicas modulares para Habitação de Interesse Social.

Fonte: elaboração própria.

Dados: Finep (2006) e Amorim, Kapp e Eksterman (2010a).

De acordo com Amorim, Kapp e Eksterman (2010, p. 10), a rede colaborativa “examinou as normas vigentes de Coordenação Modular, bem como identificou os principais obstáculos à sua implantação”. Silke Kapp, coordenadora do grupo da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) na rede, é também coordenadora do Morar de Outras Maneiras (MOM), grupo de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) na Escola de Arquitetura da UFMG que investiga processos de produção de moradias e do ambiente urbano. No âmbito do financiamento da FINEP, o MOM organizou em 2007 o IV Colóquio de Pesquisas em Habitação – Coordenação Modular e Mutabilidade. O MOM foi ainda

responsável pelo desenvolvimento de uma página web de informação sobre princípios, componentes e processos para a construção coordenada modularmente¹⁶.

Em 2007, também no âmbito do programa Habitare da Finep, foi publicado o livro *Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada* (BALDAUF; GREVEN, 2007).

Em abril de 2008, foi realizado pelo Sinduscon-SP, em São Paulo, o workshop “Coordenação Modular” (Sinduscon, 2008). Participaram com apresentações nesse workshop:

- Hélio Adão Greven com o tema “Coordenação modular: rede Habitare Desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para a Habitação de Interesse Social com foco na coordenação modular”;
- Hugo Lucini com o tema “Coordenação modular na produção da edificação: análise de experiências no Brasil”;
- Vanderley John com o tema “Implantação da coordenação modular na construção civil brasileira”; e
- Humberto Ramos Roman com o tema “Desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para a habitação”.

Também em 2008, o Governo Federal, por meio do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), do Ministério das Cidades (MCidades), da Caixa Econômica Federal (CEF) e da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), estabeleceu o *Acordo de Cooperação Técnica* com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) e a Fundação Euclides da Cunha (FEC) de apoio institucional à Universidade Federal Fluminense (UFF) “com foco na redução do déficit habitacional e na modernização da Construção no país”. Segundo a ABDI (2009, p. 13), o estabelecimento desse acordo foi resultado da articulação entre a *Rede colaborativa de pesquisa* e o MDIC por intermédio do grupo MOM. Entre as ações prioritárias desse acordo, estavam a revisão das normas de

¹⁶ Grupo MOM. Disponível em: http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/23_cm/index.html. Acesso em: 31 jan. 2017.

coordenação modular e o desenvolvimento de um plano para sua difusão. (ABDI, 2009; KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, p. 8; AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010).

Um dos produtos do acordo foi a publicação, em 2009, do *Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil* pela ABDI. O relatório é parte integrante de um estudo mais amplo para difusão da coordenação modular e do *Building Information Modeling* (BIM) no país. “Seu desenvolvimento consiste [...] na caracterização dos requisitos para a implementação da Coordenação Modular em segmentos críticos da cadeia produtiva da construção civil imobiliária, seguido da elaboração de modelos de aplicação nesses segmentos” (ABDI, 2009, p. 11).

Em julho do mesmo ano, ainda como ação do acordo estabelecido e com importante participação do grupo de pesquisa MOM da UFMG, foi reaberta a Comissão de Estudos de Coordenação Modular para Edificações do CB-02 (Comitê Brasileiro de Construção Civil) na ABNT, com representantes da Finep, do MDIC, da UFF, além de outros segmentos da construção civil (ABDI, 2009; KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, p. 9).

No início de 2010, o projeto da nova norma de coordenação modular foi disponibilizado no site da ABNT para consulta nacional (KAPP; BALTAZAR; MARCANTIER, 2009, Apêndice 4). A norma passou a vigorar em outubro daquele ano como NBR 15873:2010 Coordenação modular para edificações (ABNT, 2010b), substituindo as 25 normas técnicas que ainda eram vigentes das 26 desenvolvidas pela ABNT em convênio com o BNH de 1969 a 1982. A análise da NBR 15873:2010 indica que ela constituiu principalmente uma revisão terminológica e uma organização de informações já apresentadas nas normas desenvolvidas 28 anos antes, tendo havido também significativa simplificação de conteúdo¹⁷.

Os cinco cadernos do *Manual de práticas recomendadas de coordenação modular* (AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010), elaborados por iniciativa do MDIC para a difusão da NBR 15873, foram a última publicação específica identificada.

¹⁷ Na subseção “3.2. NORMALIZAÇÃO”, são apresentados os argumentos que fundamentam tal observação.

Entretanto, entre os anos de 2000 e 2010, e também posteriormente, foram desenvolvidos diversos artigos, dissertações e teses acadêmicas sobre o assunto. Vários deles compõem a bibliografia de referência desta dissertação.

2.3 CONCEITOS

O entendimento do significado da coordenação modular parte do exame das diferentes definições identificadas na revisão da literatura, que revela dois aspectos importantes para sua conceituação: a coordenação dimensional e o módulo. Claramente, tal bipartição também já está dada nas palavras que originam “coordenação modular” – o verbo “coordenar” e o substantivo “módulo”. Coordenar significa organizar de forma metódica, conjugar, interligar, tornar sincrônico e harmonioso, e fazer combinação ou ajuste. A palavra módulo, fora da esfera da coordenação modular, define aquilo que serve de medida ou modelo (GRANDE DICIONÁRIO HOUAISS). Ao conceituar a coordenação modular, as referências bibliográficas atribuem pesos distintos a cada um desses aspectos.

As definições que trazem ênfase à coordenação dimensional, com frequência o fazem explicando os objetivos do processo. Para Rosso, a coordenação modular é um instrumento geométrico, físico e econômico vinculado à composição espacial, à tecnologia e à produção, que tem função de compatibilizar os espaços disponíveis e os espaços ocupados (ROSSO, 1976, p. 3). Para Lucía Mascaró (MASCARÓ, 1976), a coordenação modular é um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos na construção com mínimas modificações ou ajustes. Conforme Baldauf e Greven (2004, p. 48), que criticam definições mais rigorosas, a “coordenação modular pode ser entendida como a ordenação dos espaços na construção civil”.

Definições centradas no módulo baseiam-se na determinação da unidade básica que diferencia a coordenação modular de outros arranjos espaciais. Dessa forma, para Zechmeister (2005, p. 25), “a coordenação modular é um nome particular dado à coordenação dimensional da edificação quando esta se obtém utilizando o módulo”.

Nessa linha, desde as primeiras publicações que fizeram parte da elaboração da NBR 15873, é perceptível um esforço para especificar o uso módulo básico decimétrico internacionalmente adotado. Em 2009, precedendo a revisão normativa, a “Análise crítica das normas de Coordenação Modular vigentes no Brasil” (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, Apêndice 2, p. 20) descreve a coordenação modular como “concepção de projeto e execução [...] regida pelas medidas modulares dos elementos e componentes construtivos, isto é, por medidas múltiplas de 10 cm que apresentam as medidas nominais dos elementos e componentes acrescidas de ajustes modulares”. Em 2010, os manuais de práticas recomendadas de coordenação modular (AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010a) informam que a “coordenação modular é um instrumento de compatibilização de medidas para projeto e construção baseado no módulo único M de valor igual a 100 mm”. A ABDI (2009, p. 15) e a NBR 15873 (ABNT, 2010b, p. 1-2) utilizam o mesmo texto, que primeiro define a coordenação dimensional e, em seguida, a coordenação modular como um campo restrito dentro do universo da coordenação dimensional:

Coordenação dimensional: Inter-relação de medidas de elementos e componentes construtivos e das edificações que os incorporam, usada para seu projeto, sua fabricação e sua montagem.

[...]

Coordenação modular: Coordenação dimensional mediante o emprego do módulo básico ou de um multimódulo.

[...]

Módulo básico: menor unidade de medida linear da coordenação modular, representado pela letra M, cujo valor normalizado é $M=100$ mm.

Em autores mais recentes, possivelmente como um desdobramento da NBR 15873 de 2010, faz-se presente esse entendimento de que a coordenação modular é obrigatoriamente determinada pela aplicação do módulo decimétrico. Cirqueira (2015, p. 23) explica que “O que define uma edificação ou mobiliário coordenado modularmente é a repetição de uma medida igual ou proporcional ao módulo $M=100$ mm, não a repetição de um componente”. Para a autora (CIRQUEIRA, 2015, p. 25-26) é importante que a coordenação modular e a coordenação dimensional não sejam tratadas como sinônimos, porque projetos que não empregam a modulação decimétrica não são modulares.

É comum encontrar em bibliografias exemplos de projetos coordenados modularmente que hoje, após a definição de coordenação dimensional da NBR 15873:2010, devem ser classificados como coordenados

dimensionalmente, pois não usaram um módulo igual ou repetição de 100mm.

Um arquiteto brasileiro famoso internacionalmente por seus projetos de arquitetura coordenados dimensionalmente é João Figueiras Lima, o Lelé. Em seu projeto intitulado “A Escola Transitória”, Lelé conciliou os painéis verticais, as esquadrias, os pisos, as canaletas e drenagem, as telhas e os sheds de ventilação com uma malha modular, cujo módulo fundamental era 57,25cm.[...]

Tanto nesse projeto quanto em outras edificações coordenadas dimensionalmente, a adoção de uma medida qualquer, escolhida conforme conveniência, demanda componentes cujas medidas não são encontradas no mercado da construção civil. Para viabilizar a construção de tal projeto é necessária a pré-fabricação dos componentes. (CIRQUEIRA, 2015, p. 25-26)

Acerca dessa visão são pertinentes algumas observações:

- a) Na verdade, o módulo decimétrico já vinha sendo padronizado no Brasil desde de 1950 pela norma NB-25R. No entanto, a forma pela qual era exposto no texto das normas anteriores à NBR 15873 era menos destacada em meio ao restante do conteúdo. Isso indica que a mudança ocorrida em 2010 é de ênfase, não de conteúdo.
- b) Os projetos que utilizam o módulo não decimétrico, principalmente os projetos anteriores a 2010, não devem ter sua importância diminuída. Muitos desses estavam perfeitamente inseridos no entendimento e no contexto da disciplina do seu período. Com frequência, a adoção da modulação não decimétrica derivava da tentativa de fazer melhor uso de componentes industriais que também não adotavam a padronização decimétrica. Pode-se entender que a medida do módulo básico, apesar de padronizada, não estava consolidada. Portanto, a lógica estava correta, ainda que a unidade, não.
- c) Especialmente no caso de Lelé, os módulos adotados em projeto justificavam-se por padrões identificados por ele na indústria e eram associados à pré-fabricação própria, com frequência para suprir a inadequação dos componentes de mercado. Nas “Escolas Transitórias”, conforme explicou Lelé, a escolha inicial do módulo construtivo de 114,5 x 114,5 cm resultou do aproveitamento máximo de materiais industrializados e também do dimensionamento correto dos ambientes internos. Posteriormente, os limites de peso para transporte e montagem das peças levaram à adoção do submúltiplo 57,25 x 57,25 cm como unidade básica (LIMA, 1984, p. 33). Na verdade, durante seu exercício profissional, Lelé experimentou diferentes

módulos. Acerca dos módulos 1,10 m e 1,20 m, ele relatava problemas de compatibilização com componentes industriais, principalmente de revestimentos, segmento em que é comum o uso do padrão octamétrico ($M=12,5$ cm). O módulo finalmente adotado pelo arquiteto foi o de 1,25 m, utilizado nos projetos do Centro de Tecnologia da Rede SARAH (CTRS). Conforme relatam Carvalho e Tavares (2002), nos Hospitais SARAH, o módulo de 1,25 m deriva da compatibilização de elementos de revestimento, dentre os quais o piso prensado melamínico de 62,5 x 62,5 cm e o porcelanato de 50 x 50 cm. A adoção do módulo, também neste caso, respeita considerações funcionais, devido à adequação da dimensão de 2,50 m nos boxes dos leitos e à maior largura útil obtida com a malha de 1,25 m se comparada à de 1,20 m. A partir disso, os demais elementos – estrutura, divisórias pré-fabricadas em argamassa armada, esquadrias e mobiliário projetado – seguem a modulação de 1,25 m.

Feitas tais considerações, é essencial reconhecer que, mesmo que a definição tenha evoluído ao longo do tempo, que tenha havido mudança na ênfase dada à normalização, as práticas anteriores estavam contextualizadas e justificadas pelo nível técnico e pela indústria do momento. Pode-se, apenas por um rigor de designação, chamá-las de coordenação dimensional. Mas seria contraprodutivo negá-las.

A padronização decimétrica proporciona rigor e homogeneidade de medida aos componentes. Porém, não detém em si a lógica do sistema espacial. Não trata, por exemplo, da união e de posicionamento componentes, da estrutura e da hierarquia de dimensões. Sob um entendimento empobrecido, haveria o risco de se criar uma padronização decimétrica que não fosse coordenada dimensionalmente.

Com efeito, a discussão acaba recaindo também sobre o próprio conceito de módulo. A este respeito, podem ser estabelecidas considerações correlatas às feitas sobre a coordenação modular.

Alguns autores trazem para o módulo definições menos específicas que tratam de suas propriedades e não de sua medida normalizada. Tais definições serviriam igualmente para qualquer sistema, independentemente da referência de valor adotada para o módulo básico M . Adéquam-se, por exemplo, à coordenação

modular octamétrica adotada na Alemanha até 1976 (M=12,5 cm) e ao sistema pé-polegada vigente nos Estados Unidos (M=4 polegadas). Assim, para Rosso (1976), o módulo é a unidade de medida usada para quantificar o espaço. Para Andrade (2000, p. 15), o módulo é a unidade básica de medida para a coordenação dimensional dos componentes e das partes da construção que representa a expressão de uma dimensão a um número puro.

Igualmente corretas são as definições menos conceituais que transformam o módulo em uma medida precisa no contexto de uma normalização pré-determinada. Lucini (2001) e Pereira (2005) apresentam o módulo como “distância entre dois planos consecutivos do Reticulado Modular Espacial de Referência, que é de 10 cm por convenção internacional” (PEREIRA, 2005, p. 40). Para o grupo de pesquisa MOM¹⁸, na “coordenação modular, o termo módulo significa precisamente ‘medida de 10cm’”.

Existe, ainda, um entendimento do conceito de módulo sedimentado pela história e pelo uso coloquial. Nesse caso, mal-entendidos devem certamente ser desfeitos. O grupo de pesquisa MOM aponta três equívocos conceituais recorrentes em seu website (GRUPO DE PESQUISA MOM).

O primeiro mal-entendido é a ideia de que um módulo é qualquer componente que se repete. Em realidade, no âmbito da coordenação modular, um módulo é uma **dimensão** que se repete. Por isso é possível reunir componentes muito variados e mesmo assim formar um conjunto racional e integrado.

A segunda questão apresentada diz respeito à adoção do módulo básico decimétrico. O grupo de pesquisa MOM busca se afastar da ideia do módulo como “medida geratriz de um projeto”, que aparece, por exemplo, nos tratados clássicos de composição ou no *Modulor* de Le Corbusier. A esse respeito, entretanto, a presente dissertação considera que não são definições mutuamente exclusivas. Entende-se aqui que módulo básico decimétrico é um desdobramento da teoria geral porque identificou-se para a produção industrial a conveniência de fixar uma única medida para o módulo e, dentre valores possíveis, o decímetro foi o escolhido.

¹⁸ Grupo de pesquisa MOM. Disponível em: http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/23_cm/index.html. Acesso em: 31 jan. 2017.

Finalmente, existe a ideia de que o módulo é uma unidade pré-fabricada. Isso pode ser associado ao fato de que, na língua inglesa, as expressões *modular building* e *modular housing* significam pré-fabricação. Igualmente, o termo *modularity* (que não é sinônimo de coordenação modular) é usado em referência a modelos de industrialização fechada, em que porções completas do edifício, ou até ele próprio, são pré-fabricados. Na realidade, “A coordenação modular, pode ser usada em qualquer construção, não é o mesmo que pré-fabricação, nem é exclusiva dos pré-fabricados” (GRUPO DE PESQUISA MOM).

É pertinente, neste momento, esclarecer a distinção entre os dois modelos fundamentais de industrialização para a construção civil – a industrialização aberta e a industrialização fechada. A industrialização aberta refere-se à produção de componentes destinados ao mercado, enquanto a industrialização fechada é a pré-fabricação de elementos que serão aplicados em um ou vários edifícios pré-determinados (BRUNA, 1976, p. 52, 60).

Ao contrário do que uma associação equivocada entre módulo e unidade pré-fabricada poderia indicar, predomina atualmente no Brasil e no exterior o entendimento de que a industrialização aberta é o campo principal da aplicação da coordenação modular. A industrialização aberta, em relação à fechada, tem acentuada a característica de produção em massa, o que torna padronização e compatibilização dimensional extremamente desejáveis para que os componentes possam ser combinados de forma flexível e eficaz (BRUNA, 1976, p. 52, 60). Pode-se considerar que, ao menos em teoria, a industrialização aberta permite maior variedade no resultado final da construção através da permutabilidade dos produtos intermediários e da diversidade de seu repertório (ROSSO, 1976, p. 8). A industrialização fechada encontra obstáculos advindos da especialização do produto, da falta de universalidade na solução e da necessidade de elevados investimentos que favorecem monopólios (ROSSO, 1976).

Entretanto, também não seria correto afirmar que não façam parte do escopo da coordenação modular outros modelos de industrialização, além do aberto. Com efeito, a coordenação modular não é restrita nem mesmo à construção industrializada. Como método de dimensionamento, pode ser aplicada com técnicas construtivas tradicionais, ainda que suas principais vantagens se façam presentes

no método industrial. Em situações em que o dimensionamento definido pela indústria aberta é inadequado, ou seja, que a standardização não é flexível o suficiente para atender aos requisitos de projeto, outros modelos podem ser necessários. Não se trata, sobretudo, de afirmar que um modelo de industrialização seja melhor que o outro, mas, sim, de examinar que, consideradas as situações específicas do mercado e do programa, em cada caso haverá um modelo, ou possivelmente uma mistura de modelos, adequado para atender ao problema global do edifício.

Como conclusão, é importantíssimo não reproduzir mal-entendidos e, portanto, deve-se adotar a terminologia estabelecida por norma e a padronização do módulo decimétrico. Mas, nesta dissertação, dá-se preferência a definições que não incorram em supersimplificação, sendo capazes de associar todos os aspectos do termo. A definição que se propõe aqui entende a coordenação modular como um sistema para ordenação relativa de dimensões, capaz de associar questões de composição do espaço às técnicas de produção, empregando para tanto uma referência dimensional única, que está normalizada como $M=100\text{ mm}$. Considera-se apropriada também a forma adotada pela ABNT de sequenciar três definições independentes – coordenação dimensional, coordenação modular e módulo básico – , porque por ela pode ser subentendida uma hierarquia na qual a hipótese de adoção de outro módulo básico não desfaria o entendimento do conceito original.

É necessário, por último, explicar que, ainda que a coordenação modular forme o título desta dissertação, muitas das considerações apresentadas são pertinentes ao universo mais amplo da coordenação dimensional. Entende-se que abordagens que dissociam coordenação modular e coordenação dimensional, tratando exclusivamente dos problemas relativos à aplicação do módulo decimétrico, são incompletas. É conveniente retomar a origem abrangente da investigação. Toda coordenação modular é dimensional, ainda que nem toda a coordenação dimensional seja modular.

2.4 DEFINIÇÕES

A seguir, apresentam-se definições para os princípios essenciais que formam a base teórica da coordenação modular¹⁹.

Observou-se que, na bibliografia de referência e ao longo do tempo, é recorrente o uso de termos distintos para o mesmo significado, mas também de expressões repetidas para expressar conceitos complexos. Visto isso, considerou-se adequado priorizar uma única referência atual e oficial: a NBR 15873:2010 (ABNT, 2010b). Considera-se que a NBR 15873 foi, sobretudo, uma contribuição importante para a terminologia da coordenação modular porque faz uma apresentação unificada, sintética e clara de conceitos que estavam difusos em outras normas. Exceto quando feita indicação contrária, todas as informações baseiam-se na Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010b), ainda que não seja repetida, a cada item, a referência ao texto. A organização e os grifos presentes na exposição das definições não seguem o texto original.

2.4.1 Coordenação dimensional

É a inter-relação de medidas de elementos e componentes construtivos e das edificações que os incorporam, usada para seu projeto, sua fabricação e sua montagem.

2.4.2 Coordenação modular

É a **coordenação dimensional** aplicada através do uso do **módulo básico** ou de um multimódulo.

2.4.3 Módulo básico

É a **unidade de medida linear** fundamental da coordenação modular, representado pela letra M, cujo valor normalizado é **M = 100 mm**.

¹⁹ Optou-se por não apresentar essas definições na forma de um glossário porque não são termos que podem ser pontualmente consultados ao longo da dissertação, e sim conceitos essenciais que devem ser entendidos previamente.

2.4.4 Multimódulo

O multimódulo é um **múltiplo inteiro** do módulo básico.

Os multimódulos podem ser usados em substituição ao módulo básico em um **sistema de referência modular**.

A escolha de multimódulos convenientes às soluções construtivas adotadas, considerando características dimensionais verticais e horizontais, é uma forma importante de melhorar a articulação de todos os elementos. Além disso, o uso de multimódulos com um maior número de divisores também modulares aumenta as possibilidades de compatibilização de elementos diferentes. Por exemplo, o multimódulo 6M tem os divisores 2M e 3M e por essa razão torna-se mais conveniente do que o multimódulo 5M.

2.4.5 Medida de coordenação

A medida de coordenação é a expressão em números do espaço final necessário para aplicação de um componente construtivo, incluídos folgas para deformação e instalação, tolerâncias e materiais de união. A medida de coordenação de um componente é igual à sua medida nominal somada ao ajuste de coordenação, relação expressa através da fórmula:

$$Mc = Mn + Ac$$

em que:

Mc é a medida de coordenação;

Mn é a medida nominal;

Ac é o ajuste de coordenação.

2.4.6 Medida nominal

É a medida esperada de um objeto, definida antes de sua fabricação ou execução.

A medida nominal dificilmente será igual à medida de coordenação, já que isso pressupõe a absoluta ausência de deformações, tolerâncias, folgas de montagem e materiais de união (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, p. 12).

2.4.7 Ajuste de coordenação

É o espaço reservado para acomodar tolerâncias dimensionais, deformações e materiais de união com os componentes adjacentes, consistindo na diferença dimensional existente entre a medida nominal e a medida de coordenação correspondente.

2.4.8 Medida real

É a medida verificada diretamente no objeto singular, após sua execução ou fabricação.

Quando se mede um componente depois de fabricado, provavelmente serão verificadas medidas um pouco diferentes das medidas nominais (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, Apêndice 6, p. 4). O grau de variação é resultado da precisão característica da tecnologia empregada e dos limites admissíveis para sua aplicação.

2.4.9 Medida modular

É a **medida de coordenação** aplicada aos sistemas de referência modulares, cujo valor deve corresponder a um **módulo básico** ou a um **multimódulo**.

2.4.10 Sistema de referência modular

É um **reticulado tridimensional de planos ortogonais**, no qual a distância entre quaisquer planos paralelos é igual ao módulo básico ou a um multimódulo.

Os sistemas de referência são utilizados para posicionar e organizar elementos no projeto e na construção de edificações coordenadas modularmente. Sistemas de referência podem ser justapostos apresentando diferentes distâncias entre seus planos ou diferentes ângulos.

2.4.11 Espaço amodular

É a área que apresenta medidas não modulares, adjacente a um ou mais sistemas de referência modulares.

A NBR 15873:2010 não traz exemplos de aplicação dos espaços amodulares, porém é pertinente observar que as situações típicas que levam à sua formação são juntas de dilatação, intersecções entre diferentes planos de referências não ortogonais e adaptações perimetrais decorrentes do limite do terreno (Figura 1).

Figura 1 – Espaço amodular

Sem escala.

Fonte: elaboração própria.

2.4.12 Incremento submodular

É uma **fração** do módulo básico com os seguintes valores estabelecidos pela NBR 15873:2010: $M/2=50$ mm, $M/4=25$ mm, $M/5=20$ mm.

Os incrementos submodulares têm aplicação reservada a situações em que existe necessidade de determinar **medidas de coordenação** ou acréscimos dimensionais menores do que o módulo básico, ou ainda para determinar o deslocamento entre diferentes **sistemas de referência**. Conforme estabelece a NBR 15873, o incremento submodular não deve ser aplicado em substituição ao módulo básico.

2.4.13 Componentes construtivos modulares

Componentes construtivos são quaisquer unidades distintas de determinado elemento do edifício com forma e medidas especificadas nas três dimensões, como, por exemplo, blocos de alvenaria, telhas, caixilhos etc. Componentes construtivos

modulares são aqueles cujas medidas de coordenação são modulares (correspondentes ao módulo básico ou a um multimódulo). Eles têm medidas nominais determinadas subtraindo-se os ajustes de coordenação das medidas de coordenação modulares desejadas. Os componentes construtivos modulares podem apresentar uma ou mais medidas não modulares, desde que essa dimensão não interfira na coordenação com outros elementos construtivos (a espessura, por exemplo).

2.4.14 Conjuntos modulares

Conjuntos modulares são agrupamentos de componentes construtivos que resultam em medidas de coordenação modulares. Assim, componentes não modulares podem ser admitidos em um sistema coordenado modularmente se acompanhados por outros componentes ou acessórios capazes de produzir conjuntos modulares. Nesse caso, os conjuntos modulares adquirem função equivalente à do componente modular, devendo ser apresentada a medida modular correspondente ao conjunto modular mínimo e os componentes pelos quais o mesmo é formado.

2.4.15 Exemplos ilustrados

Em seu Anexo A (ABNT, 2010b, p. 6-9), a NBR 15873:2010 ilustra os conceitos por ela definidos através de alguns exemplos gráficos. A seguir será apresentada uma síntese do conteúdo gráfico (Figura 2 a Figura 6) da norma analisada, através da qual se procura demonstrar a extensão da abordagem dada por ela para a aplicação dos conceitos que define.

Figura 2 – Componente modular A com respectivo espaço de coordenação

a) medidas nominais do componente A
Sem escala.

Fonte: ABNT (2010b, p. 6)

b) medidas modulares do componente A

Figura 3 – Componente modular B com respectivo espaço de coordenação

a) medidas nominais do componente B
Sem escala.

Fonte: ABNT (2010b, p. 6).

b) medidas modulares do componente B

Figura 4 – Componente amodular C com respectivo espaço de coordenação

a) medidas nominais do componente C b) medidas amodulares do componente C
Sem escala.

Fonte: ABNT (2010b, p. 7).

Figura 5 – Conjunto modular constituído por componentes individuais não modulares

c) Medidas nominais do conjunto C
Sem escala.

b) Medidas modulares do conjunto C

Fonte: ABNT (2010b, p. 7).

Figura 6 - Componentes posicionados no sistema de referência modular

Sem escala.

Fonte: ABNT (2010b, p. 8).

3 O OBJETO DA INDÚSTRIA

Os objetos da arquitetura são invólucros e espaços, mas toda e qualquer construção que os conforma é fundamentalmente uma associação de materiais.

A união de materiais amorfos na construção – por exemplo, argila, areia, pedrisco, cimento e tinta – dispensa, claro, a compatibilização dimensional. Sua característica adimensional possibilita o uso sem nenhum procedimento de adaptação. Entretanto, estágios sucessivos de aplicação de tecnologia sobre a matéria tendem a produzir componentes com geometria e medidas definidas – por exemplo, bloco, telha, esquadria e porta (ROSSO, 1976, p. 35-36). A associação desses componentes, dadas suas partes rígidas em formato e tamanho, requer que medidas e sistemas de união sejam compatibilizados (GRUPO DE PESQUISA MOM).

O problema da associação entre componentes pode ser resolvido de diversas formas. Para combinar uma janela com um vão de alvenaria, por exemplo, “pode-se adaptar as partes no próprio canteiro, cortando, lixando ou quebrando até que se ajustem, mas esse processo é demorado e gera mais sujeira e entulho” (GRUPO DE PESQUISA MOM). Essa opção não é racional porque, em essência, trabalha desfazendo parte do processo que havia sido aplicado para conformar os elementos na fábrica. Há desperdício de energia, de tempo e de material. É possível também resolver previamente, caso a caso, a compatibilização; por exemplo, medindo na obra o vão da alvenaria antes da execução da esquadria ou conhecendo previamente o espaço necessário para sua instalação e dimensionando, de acordo, os vãos. Isso, em tese, evita o retrabalho sobre o material, mas a eficiência, principalmente no âmbito da produção industrial, continua prejudicada devido à falta de replicabilidade da solução, de permutabilidade entre componentes e de simultaneidade entre tarefas.

Finalmente, é possível também agir por meio de um acordo entre produtores, projetistas e construtores envolvidos que garanta que componentes construtivos, independentemente de sua origem ou sua função, tenham medidas que combinem entre si (GRUPO DE PESQUISA MOM). Se por um lado a variedade é uma necessidade da arquitetura, por outro a uniformidade é um requisito da produção industrial (ROSSO, 1976, p. 10). Então, para a indústria, a coordenação modular é

justamente essa regra comum que possibilita a produção seriada e a combinação automática dos componentes (GRUPO DE PESQUISA MOM). A Figura 7, reproduzida a seguir, ilustra como a compatibilização das medidas de coordenação possibilita adotar um vão adequado a diversos modelos de esquadria, sem necessidade de adaptações adicionais.

Figura 7 - Exemplo de compatibilização dimensional de esquadrias e alvenaria

Sem escala.

Fonte: Grupo de pesquisa MOM (200?, p. 3).

A industrialização da construção transfere para a usina um número crescente de operações, levando à obra componentes cada vez maiores e mais complexos. Isso, por um lado, reduz o número de juntas e de operações de montagem no local e, por outro, torna mais importante a resolução desses pontos de união (ROSSO, 1976, p. 8-11, 146, 158-159). Em consequência, a “compatibilidade dimensional entre elementos construtivos definidos em projeto, e componentes construtivos, determinados por fabricantes, é a chave do processo” (AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010a, p. 11).

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI-FEC, 2009, p. 17), para que sejam considerados modulares, os componentes devem possuir medidas de coordenação iguais ao módulo básico de 10 cm ou a um múltiplo inteiro deste. Esse parâmetro simples, por si só, constitui um desafio significativo diante da

difículdade da indústria em aplicar corretamente os conceitos de medida de coordenação e medida nominal e também devido à herança de medidas provenientes do sistema pé-polegada e do sistema octamétrico.

Todavia, a aplicação da medida de coordenação decimétrica não garante todos os aspectos da compatibilidade. Conforme explicava Rosso (1976, p. 8-11, 146, 158-159), além da compatibilidade geométrica-dimensional, há outros dois aspectos relevantes para a coordenação modular que precisam ser solucionados: a compatibilidade mecânica e a funcional. A compatibilidade mecânica refere-se à solução do detalhe construtivo das juntas e sua capacidade de acomodar as variações e as movimentações próprias dos materiais e do sistema. Essa solução resulta na definição do ajuste de coordenação e é proveniente de cálculos sobre folgas e tolerâncias pertinentes ao projeto do produto. Já a compatibilidade funcional considera a relação dos diversos componentes no conjunto, sob um enfoque que extrapola as propriedades de cada material e trata das possibilidades de integração para a composição do edifício. Neste caso, o módulo básico decimétrico é com frequência pequeno demais para proporcionar essa integração e pode ser acompanhado de outros recursos, como a definição de multimódulos, séries preferidas e zonas de domínio para cada categoria de componente (ROSSO, 1976 p. 22-23).

Os problemas complexos da compatibilidade conduzem naturalmente ao domínio da normalização (ROSSO, 1976, p. 11). As normas técnicas, acompanhadas por mecanismos de controle e certificação, podem agir para estabelecer as mesmas características dimensionais e reduzir a variedade de tipos (BALDAUF; GREVEN, 2007, p. 34), mas nem todas as condições poderão ser corrigidas pela normalização técnica, sob o risco de incorrer em restrição excessiva.

Deve-se considerar que diferentes fatores funcionais, construtivos, tecnológicos e econômicos exercem influência na definição das dimensões dos componentes. Ademais, para muitos desses materiais, as escolhas se sucederam em um processo histórico, ainda que suas razões (obsoletas ou não) tenham sido esquecidas (ROSSO, 1976, p. 34-35). Consequentemente, os princípios da coordenação modular são comuns aos vários segmentos da indústria da construção, mas os padrões dimensionais não são. Qualquer determinação de dimensionamento requer

uma avaliação sobre as condições presentes em um segmento específico, e outra para examinar as conveniências na interação com os demais segmentos e projetos necessários à produção da edificação.

Nesta seção, parte-se do reconhecimento da importância da coordenação modular para a eficácia da aplicação dos componentes industriais na construção e, ao mesmo tempo, da padronização dos componentes industriais para a coordenação modular. Primeiro, investigam-se alguns dos fatores que contribuem para a definição do dimensionamento na indústria, como se estabelece e se modifica um padrão. Na subseção seguinte, aborda-se o papel das normas técnicas, especialmente da normalização de coordenação modular, como possíveis agentes de mudanças. Finalmente, na terceira subseção, há exemplos do dimensionamento praticado por quatro segmentos da indústria da construção (vedações, esquadrias, coberturas e revestimentos), explicitando os desafios presentes e também os setores que já se encontram mais adequados aos princípios da coordenação modular.

3.1 PADRÕES DIMENSIONAIS

O dimensionamento dos componentes da construção é um aspecto fundamental da coordenação modular. É necessário certo grau de uniformidade nas características dos produtos que servem a um mesmo propósito. Medidas e conexões devem ser definidas de forma a proporcionar condições de compatibilidade e intercambialidade. Devem também ser disponibilizadas informações completas sobre as medidas de coordenação e nominais e sobre as condições de união entre componentes para que projetistas e construtores façam a composição adequada no edifício.

A consulta da bibliografia de referência demonstra que recentemente a definição de critérios dimensionais e a padronização dos componentes têm recebido mais destaque em relação a outros enfoques do problema da coordenação modular. As referências bibliográficas que constroem sua argumentação partindo da definição normalizada internacionalmente de que a coordenação modular é a coordenação dimensional feita mediante o emprego do módulo básico de 10 cm (ABNT, 2010b, p. 1) tendem a priorizar a padronização dimensional decimétrica dos produtos industriais, deixando outras investigações para o âmbito (mais geral e menos

explorado) da coordenação dimensional. Tal direcionamento pode ser identificado, por exemplo, em Kapp, Baltazar e Marcandier (2009), ABDI-FEC (2009) e Lucini (2001).

Na prática, no entanto, o princípio simples da coordenação decimétrica constitui um desafio complexo. Há setores industriais, como o de blocos cerâmicos e de concreto, em que existe uma padronização dimensional bem consolidada, que não oferece obstáculos significativos à prática da coordenação modular. Em outros segmentos – por exemplo, o de revestimentos cerâmicos –, a mesma condição não é verificada. Em muitos casos, normas técnicas agem para estabelecer padrões mais adequados. Em outros, a normalização é falha.

Há, na verdade, uma heterogeneidade no dimensionamento praticado entre os segmentos da indústria e até dentro de um mesmo segmento. Parece importante investigar as razões que agem sobre esse dimensionamento, entendendo quais são os desafios para a coordenação modular na indústria. Sabe-se que existem limitações físicas das propriedades dos materiais e há também questões relacionadas à ergonomia, à produção, à lógica de transporte e armazenamento, questões históricas, sociais e mercadológicas. Como essas questões inter-relacionam-se? O que determina a variação ou a homogeneidade? O que conduz a adoção de um padrão em detrimento de outro?

O primeiro aspecto a ser considerado é que os materiais têm propriedades físicas intrínsecas. Todos têm rigidez e durabilidade características e uma resistência limite, além da qual não podem estender-se sem que colapsem. Dado que os esforços aos quais são submetidos aumentam proporcionalmente a seu tamanho, todos os materiais têm tamanhos e/ou proporções ditados por suas características inerentes. Blocos de alvenaria, como o tijolo, são resistentes à compressão e dependem de sua massa para apresentar resistência; são, portanto, volumétricos em forma. Materiais como o aço são resistentes tanto à compressão como à tração e podem, por isso, tomar forma de colunas e vigas lineares, assim como lâminas (CHING, 2002, p. 280-281).

Ching (2002, p. 282) acrescenta que os vários elementos arquitetônicos são também dimensionados pelo processo por meio do qual foram fabricados. Frutos de

produção seriada, eles têm dimensões e proporções determinadas por fabricantes específicos ou impostas por um padrão da indústria. Igualmente, a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI-FEC, 2009, p. 14) afirma que cada segmento de produção industrial traz consigo condicionantes derivados dos sistemas produtivos e das características de seu parque industrial que agem sobre o dimensionamento de seus produtos. Mudanças são sempre avaliadas sob a ótica dos ajustes necessários nas linhas de produção, logística (embalagem, armazenamento, transporte) e qualificação da mão de obra.

Deve-se considerar também que, embora cada segmento industrial aja no universo de um sistema construtivo, frequentemente este apresenta peculiaridades na interação com outros sistemas. Os componentes de vedação (blocos e chapas) fazem interface com esquadrias, revestimentos e instalações; as coberturas (telhas), com a subcobertura (ABDI-FEC, 2009, p. 14). Acerca dessa questão, Ching explica que, porque esses materiais unem-se na construção do edifício, “tamanhos e proporções padrão dos elementos industrializados afetam o tamanho, a proporção e o espaçamento de outros materiais também” (CHING, 2002, p. 282). É o caso dos perfis estruturais nos sistemas *wood frame*, *steel frame* ou *drywall*, os quais devem ser espaçados para acomodar as chapas de vedação modulares. Da mesma forma, portas e janelas podem ser dimensionadas para adequar-se às aberturas modulares da alvenaria, mas simultaneamente devem compatibilizar as dimensões dos marcos com folhas, vidros e painéis, que por vezes provêm de fabricantes distintos.

A interação de vãos e esquadrias com o sistema de vedações parece ser uma questão-chave, abordada por muitos autores, geralmente associando a padronização dimensional de esquadrias à execução de alvenarias racionalizadas (LUCINI, 2001; ABDI-FEC, 2009; SOARES, 2008). Não obstante, o dimensionamento das esquadrias também sofre influência do dimensionamento dos componentes provenientes das indústrias de vidro e de perfis de alumínio e aço. O aproveitamento ótimo desse conjunto – perfis da esquadria, vidros e sistema de vedações – é muito relevante economicamente porque compõe os planos verticais da construção que, segundo Mascaró (1998, p. 30), representam, aproximadamente, 45% do custo total dos edifícios. No entanto, a esse respeito, deve-se lembrar que, no projeto de esquadrias, também é necessária a consideração dos requisitos do

usuário vinculados à ergonomia, à salubridade, ao conforto térmico e visual que decorrem do dimensionamento e que, frequentemente, são prejudicados pela prática dimensional adotada pela indústria.

Há também um aspecto do dimensionamento relacionado ao transporte e à movimentação de cargas no canteiro de obra, à aplicação do elemento e à ergonomia durante a construção. Os componentes devem ter dimensões compatíveis com os equipamentos de transporte e movimentação (caminhões, guias, guindastes), com os espaços disponíveis no trajeto (larguras viárias, corredores, portas) e com operações manuais de montagem, dependendo de sua aplicação característica.

Esses eram, por exemplo, critérios essenciais usados pelo arquiteto Lelé no dimensionamento dos componentes pré-fabricados em suas usinas, com frequência priorizando a viabilização da montagem manual. Em seu projeto para as Escolas Transitórias, por exemplo, as vigas foram divididas em dois segmentos acopláveis (de 4,86 m cada) para possibilitar o manuseio e o transporte em caminhões convencionais nas estradas rurais (LIMA, 1984). De forma similar, no estudo que desenvolveu para edificações habitacionais em Salvador no âmbito do programa Minha Casa Minha Vida, o arquiteto previu a pré-fabricação em miniusinas locais de componentes estruturais leves em aço e argamassa armada compatíveis com a montagem manual e com a capacidade de suporte característica do terreno. Nesse caso, o componente mais pesado era uma peça de laje que venceria um vão de 2,7 m com massa de 86 kg, podendo ser montado por duas pessoas (PORTO, 2011).

Tratando-se dos requisitos de dimensionamento do componente relacionados às operações na obra, é possível também fazer referência aos tijolos de barro que, segundo Andrade (2000, p. 137), têm largura e peso reduzidos, o que facilita o manuseio pelo pedreiro (a largura de 10 cm corresponde à palma da mão e a massa varia entre 3,5 kg e 4 kg), e pequenas dimensões, que oferecem boas possibilidades de amarração. Já os blocos vazados de concreto, com maior dimensão, requerem o uso de ambas as mãos para o manuseio, além de exigirem a produção de uma família com formatos complementares para solucionar encontros, cantos e terminações (ANDRADE, 2000, p. 140-141).

É relevante para a análise da padronização dimensional fazer referência a Krislov e seu livro *How Nations Choose Product Standards and Standards Change Nations* (KRISLOV, 1997). Para isso, primeiro deve-se explicar que o termo da língua inglesa “*standard*”, substituído aqui por “padrão”, tem algumas outras traduções possíveis para o português – padrão, tipo, modelo e norma (GRANDE DICIONÁRIO HOUAISS). Assim, o conceito expressa qualquer forma dominante que pode ser regida por um ou vários agentes – governo, especialistas, produtores, consumidores, usuários etc. Com frequência, ele se manifesta sem uma exigência legal, sendo determinado por outros fatores coercivos, por exemplo econômicos ou sociais (KRISLOV, 1997, p. 7-8, 26). A observação sobre a abrangência do termo demonstra a complexidade do problema dos padrões dimensionais, de que a normalização técnica é apenas parte.

As consequências da padronização de produtos, entre as quais estão a especialização e a interdependência entre produtores (KRISLOV, 1997, p. 10, 15), são completamente pertinentes às necessidades da coordenação modular e da industrialização da construção. Padronizações são capazes de oferecer economia de escala, unidades compatíveis e substituíveis e podem ser usadas sem prejuízo à variedade (KRISLOV, 1997, p. 216, 230). Para tanto, devem oferecer fundamentos, base sólidas, sem impor limites restritivos. Todavia, conforme o autor observa, é possível estabelecer uma relação entre superpadronização e estagnação, porque padrões rígidos podem desencorajar a inovação, perpetuar inadequações e, por induzir investimento excessivo em um único projeto ou processo, transformar a introdução de novas soluções em uma ação inviável (KRISLOV, 1997, p. 15).²⁰

Krislov (1997, p. 201-214) relata também que há diferentes modelos que permitem interpretar os processos que conduzem a constituição de um padrão.

O modelo *tecnocrático* defende que existiria uma solução ideal, um estado naturalmente correto para as coisas, passível de ser formalizado em uma norma verificável. Em oposição, o modelo de *difusão* entende que um padrão é apenas

²⁰ Nesse sentido, os padrões de desempenho, que não fixam características físicas para produtos ou processos, são melhores para garantir resultados sem desencorajar inovações. São, todavia, mais difíceis de exigir, já que a verificação da sua conformidade costuma depender de sistemas de medição mais complexos (KRISLOV, 1997, p. 19-20).

uma das inúmeras soluções possíveis para um problema, adotada em parte por sua eficiência, em parte por aprendizado e imitação. Sua configuração seria, portanto, uma aproximação vaga de uma situação ótima, havendo surpreendente persistência de erros e características acidentais (KRISLOV, 1997, p. 203-204, 213). Complementar ao modelo de difusão, o modelo *restritivo* indica que a imposição de um padrão pode também deliberadamente congelar em um processo uma tecnologia específica para o benefício de seus detentores e o prejuízo da concorrência. Já o modelo baseado no *mútuo acordo* defende que, por negociação e consenso, padrões podem oferecer benefícios a todas as partes envolvidas. Sobre isso, Krislov faz uma ressalva importante, lembrando que nessa negociação os produtores detêm os meios de produção e as informações a eles relativas, enquanto os consumidores raramente são representados em igualdade de condições. Por isso, o modelo do mútuo acordo é, segundo o autor, fundamentalmente incorreto ou, ao menos, uma superidealização (KRISLOV, 1997, p. 209, 212-213). Por fim, o modelo da *arbitrariedade*²¹ propõe que a padronização teria a capacidade de originar por decreto uma prática completamente nova. Essa é uma lógica inversa às anteriores, porque aponta que um padrão poderia moldar a realidade tanto quanto a realidade origina o padrão.

Krislov (1997, p. 201) conclui que nenhuma explicação única é adequada para todas as situações. Cada perspectiva ajuda a desenvolver uma reflexão sobre as forças que agem na formação, na manutenção ou na mudança de um padrão. Basicamente, há três elementos – a gama natural de opções viáveis, a aderência acidental de uma solução e a preferência consciente de uma opção – que costumam ser confundidos, especialmente em situações de resistência à inovação (KRISLOV, 1997, p. 210). Ineficiências acidentais, assim como aspectos intencionalmente tendenciosos, costumam persistir, a não ser que vantagens para mudança se tornem muito evidentes. Dado que, com frequência, os custos de mudança são altos e seus desdobramentos são complexos, e porque os envolvidos nas tomadas de decisão não costumam ser convencidos facilmente, o *status quo* tende a prevalecer (KRISLOV, 1997, p. 214).

²¹ Os termos originais apresentados pelo autor são “*the technocratic explanation*”, “*the diffusion model*”, “*the restrictive model*”, “*standards as communicated bargaining*” e “*the fiat*” (KRISLOV, 1997).

Para o dimensionamento no âmbito da coordenação modular, o exemplo mais significativo e também problemático da inércia de um padrão é a reprodução de produtos dimensionados pelo sistema pé-polegada.

O sistema pé-polegada baseia-se em dois outros sistemas anteriores, o Sistema Norte-Americano de Medidas Usuais e o Sistema Imperial Inglês. Suas unidades foram originalmente derivadas de dimensões antropométricas; todavia, atualmente são definidas a partir do Sistema Internacional de Unidades (SI), no qual o metro é a unidade de medida de comprimento. Assim, a jarda, que referenciava a distância entre o nariz e a extremidade do polegar com o braço estendido, hoje mede 0,9144 m; o pé define-se como um terço da jarda; e a polegada, como um doze avos do pé (ZECHMEISTER, 2005, p. 37). Dada a origem antropométrica e em comparação com o “sistema métrico”²², o sistema pé-polegada é usualmente reconhecido por sua capacidade natural de relacionar as dimensões do espaço com o usuário.

Não obstante, a facilidade das operações matemáticas proporcionadas pelas unidades decimais e a demanda do comércio internacional fizeram com que o Sistema Internacional de Unidades e o metro prevalecessem. Na atualidade, o sistema pé-polegada é usado apenas nos Estados Unidos, na Libéria e em Myanmar, sendo que a Inglaterra, origem do Sistema Imperial Inglês, adotou o Sistema Internacional de Unidades em 1972 (BALDAUF, 2004, p. 45; CREASE, 2013, p. 26).

É necessário, porém, entender que o predomínio de medidas indicadas em metro não equivale à adoção do dimensionamento no “sistema métrico”. O uso do termo “dimensão” em vez de “medida” (e vice-versa), ainda que frequente, não é preciso. Conforme esclarece a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial, dimensão é grandeza, enquanto medida é um valor que se expressa em uma unidade de medida. “O termo dimensão designa, para objetos e espaços, uma

²² Convém esclarecer que a expressão “sistema métrico”, coloquialmente usada e indicada entre aspas nesta dissertação, faz referência à aplicação do metro como unidade de medida de comprimento do Sistema Internacional de Unidades e de seus múltiplos e submúltiplos decimais. Na realidade, hoje não há um “sistema métrico”, e sim um Sistema Internacional de Unidades que contém sete unidades de base (metro, quilograma, segundo, ampere, kelvin, mol e candela) e outras unidades delas derivadas (INMETRO, 2012).

grandeza necessária para definir sua geometria (...). Largura, comprimento e altura são dimensões, enquanto seus valores são medidas” (ABDI-FEC, 2009, p. 20).

Conforme relata Teodoro Rosso (1976, p. 22), as dimensões de muitos dos componentes tradicionais foram definidas antes da adoção do “sistema métrico” e basearam-se em grandezas antropométricas. Por ter sido a Inglaterra o berço da Revolução Industrial – e, depois, seguida pelos Estados Unidos –, as dimensões em pé-polegada tornaram-se práticas impostas por máquinas e métodos de lá importados ou reproduzidos. Logo, resulta que, muito tempo depois da criação do “sistema métrico”, o uso do sistema pé-polegada permanece acarretando problemas de compatibilidade significativos, especialmente na construção civil.

Nos perfis de aço laminado, por exemplo, as dimensões de alma e mesa das vigas são definidas em polegadas, ainda que seu comprimento seja determinado em metros (6 m a 12 m). O mesmo acontece com boa parte dos perfis de alumínio disponíveis no mercado. É também estabelecido o uso das polegadas para a definição de diâmetro de tubos e barras e para a espessura de chapas de aço e alumínio, mesmo que esses valores sejam “traduzidos” por medidas equivalentes aproximadas no “sistema métrico”. No segmento de derivados da madeira, as espessuras costumam ser determinadas em milímetros: 4, 6, 8, 10, 15, 18, 20, 22 etc. No entanto, é frequente que largura e comprimento de chapas identificadas em centímetro sejam aproximações das dimensões em pé. Assim acontece com chapas de OSB medindo 122 x 244 cm (4 x 8 pés), 122 x 305 cm (4 x 10 pés) e 122 x 366 cm (4 x 12 pés), de MDF e aglomerado de madeira medindo 183 x 275 cm (6 x 9 pés) e de compensado com acabamento em laminado melamínico de 122 x 305 cm (novamente, 4 x 10 pés). A esse respeito, Hélio Adão Greven, em entrevista à revista *Téchne*, afirma que a madeira compensada é um item importante de exportação brasileira aos Estados Unidos e que a forte presença das medidas no sistema pé-polegada é explicada pela produção direcionada a essa demanda (LOTURCO, 2008).

É interessante observar que esse não é exclusivamente um problema nacional. Por exemplo, uma consulta ao site da European Panel Federation (EPF), entidade que representa fabricantes de aglomerados de madeira, MDF e OSB, lista para as

chapas de MDF medidas usuais derivadas do sistema pé-polegada, sendo as larguras 122 cm, 152,5 cm e 185 cm e o comprimento 366 cm.

A Figura 8 apresenta a correspondência entre medidas do “sistema métrico” e do sistema pé-polegada. Observa-se que é possível associar ao sistema pé-polegada a origem de algumas referências de medidas frequentemente usadas para o dimensionamento de componentes da construção, mas que não correspondem à padronização decimétrica.

Figura 8 - Correspondência de medidas no sistema pé-polegada às medidas no “sistema métrico”

referência	sist. pé-polegada	sistema métrico
2,5cm	1 1/2"	12,70mm
	5/8"	15,88mm
	3/4"	19,05mm
5,1cm	1"	25,40mm
	1 1/2"	38,10mm
	2"	50,80mm
7,6cm	2 1/2"	63,50mm
	3"	76,20mm
	3 1/2"	88,90mm
10,2cm	4"	101,60mm
	5"	127,00mm
	6"	152,40mm
20,3cm	8"	203,20mm
	11 1/4"	285,75mm
30,5cm	1' ou 12"	304,80mm
40,6cm	16"	406,40mm
61cm	2'	609,60mm
	3'	914,40mm
122cm	4'	1219,20mm
	5'	1524,00mm
183cm	6'	1828,80mm
	7'	2133,60mm
244cm	8'	2438,40mm
275cm	9'	2743,20mm
305cm	10'	3048,00mm
	11'	3352,80mm
366cm	12'	3657,60mm

Fonte: elaboração própria.

A apresentação de medidas no “sistema métrico” nos catálogos dos produtos dissimula o vício de origem, porém em nada altera o problema da compatibilidade. A dissimulação agrava-se quando a medida de catálogo é arredondada (para baixo) parecendo um múltiplo decimal, mas sua dimensão continua correspondente ao pé e à polegada. Isso acontece, por exemplo, com as medidas 30 cm (30,5 cm), 40 cm (40,6 cm), 60 cm (60,9 cm), 90 cm (91,4 cm), 120 cm (121,2 cm), etc. Em tais situações, caso o componente não se destine à aplicação direta na construção, ou seja, ainda deva passar por algum corte, não há grandes problemas, porque o excedente poderá ser naturalmente eliminado. Não obstante, quando isso acontece com componentes terminados, o resultado é extremamente prejudicial. Haverá uma falsa ideia de que ele se adequa aos princípios da coordenação modular, mas sua aplicação revelará um desvio expressivo resultante da dimensão excedente somada aos espaços necessários para o ajuste de coordenação.

O conflito existente entre os dois sistemas de medida pode ser explicado pela a interação dos diferentes modelos descritos por Krislov (1997). A implantação do

“sistema métrico” foi uma ação tanto tecnocrata quanto arbitrária. Em nada relacionava-se com os sistemas anteriores e, ainda assim, conseguiu estabelecer uma ordem completamente nova porque nele identificaram-se benefícios coletivos convenientes. Por outro lado, a permanência do dimensionamento em pé-polegada destaca a inércia característica de soluções preexistentes e também o poder que têm os detentores de tecnologia e capital de conduzir a prática em um segmento.

De acordo com Greven (LOTURCO, 2008), a adequação dimensional é necessária e possível, ainda que seja um processo lento, porque envolve ao mesmo tempo fatores culturais e técnicos (com a necessidade de adequação de equipamentos). Ele cita o exemplo da Alemanha, que até a década de 1970 usava a coordenação modular octamétrica (baseada na oitava parte do metro ou 12,5 cm) e que posteriormente fez com sucesso a transição para o sistema decimétrico por motivos comerciais. Mas, mostrando que na falta de ações restritivas heranças não desaparecem, relata que equipamentos alemães do período em 2008 ainda eram usados no Brasil na produção de componentes pré-moldados da construção civil, como as lajes de concreto protendido com 1,25 m de largura. Não foi possível verificar a que produto e fabricante Greven fazia referência nessa afirmação, porém, sabe-se que a laje pré-moldada alveolar de concreto protendido, usada para pavimentos e também fechamento de fachadas, é um dos produtos que permanecem disponíveis com largura de 1,25 m.²³

A persistência do problema, assim como no caso do sistema pé-polegada, indica que a autorregulação, que em larga medida rege a prática dimensional na construção brasileira, não tem sido suficiente para estabelecer a compatibilidade necessária à coordenação modular.

²³ Isso pode ser observado, por exemplo, nos Catálogos Técnicos de Serviços, usados para a construção de escolas públicas do estado de São Paulo pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), que indica larguras de 1 m a 1,25 m para execução dessas lajes (FDE, 2016). Entre os oito fabricantes de lajes alveolares indicados como protótipo comercial nesses catálogos, quatro disponibilizam informações on-line sobre as larguras adotadas, sendo que dois têm padronizada a largura de 1,25 m; um, de 1,20 m e 1 m; e um, apenas de 1,20 m. Isso também é confirmado pela experiência profissional da autora desta dissertação junto à FDE como projetista e analista de projetos, ocasião em que observou igual recorrência no uso das lajes alveolares de largura 1,20 m e 1,25 m, embora a largura de 1,20 m fosse mais compatível com multimódulo 3M adotado nas escolas da fundação.

Historicamente, no mundo todo, a autorregulação em acordos e práticas estabelecidas pelas associações de comerciantes e produtores foi a principal alternativa à regulação governamental, sendo que muitas vezes esses processos estiveram vinculados (KRISLOV, 1997, p. 60). As associações de produtores oferecem o que, segundo Krislov, talvez seja a forma mais natural de organização, porque as indústrias podem comparar problemas e encontrar soluções comuns. Entretanto, conforme esclarece o autor, nessas situações de autorregulação há o risco de ações orientadas a benefício próprio ou de um pequeno grupo de empresas, sendo mais comuns soluções que viabilizem o consenso, mesmo que isso signifique algum comprometimento da qualidade (KRISLOV, 1997, p. 61). Como já explicitado, na construção civil a padronização dimensional deve ser examinada também em sua interação com segmentos distintos e com o edifício; portanto, é natural prever que o acordo feito dentro da esfera restrita de um segmento dificilmente agirá espontaneamente para fazer correções que objetivem o benefício global da construção. A relação entre pisos elevados e forros em placas constitui um bom exemplo da situação. Ambos os segmentos são usualmente utilizados em edifícios corporativos, com grandes lajes para compartimentação livre. Considerando que, neste caso, as superfícies de piso e forro são “espelhos” uma da outra, seria natural que adotassem a mesma padronização dimensional, permitindo os mesmos modelos de encontro, de soluções técnica e estética. No entanto, no segmento de forros são predominantes as dimensões de coordenação provenientes do sistema octamétrico 62,5 cm e 125 cm; no segmento dos pisos elevados, a dimensão de coordenação decimétrica 60 cm. Ainda que atualmente já existam em ambos os segmentos algumas opções disponibilizadas tanto no sistema octamétrico quanto no decimétrico, a variedade da oferta de produtos compatíveis fica restrita, e é comum que projetos acabem com um padrão no teto e outro no piso.

Organizações normalizadoras independentes (como a ISO, ou a ABNT no Brasil) também são baseadas em acordos e podem resultar em uma regulação superficial, mas, se habilmente conduzidas, reduzem as ações em autobenefício (KRISLOV, 1997, p. 63-64). Selos de certificação e sistemas de classificação, que podem ser concedidos por uma instituição governamental ou independente, são complementos eficientes, uma vez que, direta ou indiretamente, resultam em benefícios comerciais de acordo com o grau de conformidade praticado pelo fabricante. Porém, se forem

produto de uma autoridade autoproclamada que age sobre critérios arbitrários para benefício próprio, poderão ser instrumentos de manipulação do público (KRISLOV, 1997, p. 68).

Portanto, padronizações de produtos não são eficientes nem ineficientes em essência. Elas podem promover o progresso e a abertura, mas também servir à autorregulação e incentivar a estagnação, dependendo da forma que assumem e das razões que as conduzem (KRISLOV, 1997, p. 15). Tomar atalhos para a padronização recorrendo exclusivamente a concessões mútuas provavelmente irá oficializar a reprodução de inadequações. Assim como confiar em padrões preestabelecidos sem conhecimento básico dos processos que o formaram deixa todos à mercê dos agentes que controlam o processo (KRISLOV, 1997, p. 79). Criar um padrão é correr o risco de uma escolha arbitrária, mas é também ter a chance de proporcionar novas e melhores condições para produção (LE CORBUSIER, 1954, p. 107).

Finalmente, é necessário sempre lembrar que, independentemente da legitimidade de suas razões, um padrão dimensional é uma escolha.

Uma vez que a medida exista, é irresistível considerá-la ponto pacífico e supor que ela sempre existiu. As medidas tornaram-se parte do perfil das coisas, parecendo pertencer ao mundo em si. Mas cada padrão ou marca veio ao mundo como resultado de uma decisão humana (CREASE, 2013, p. 8).

3.2 NORMALIZAÇÃO

Segundo a ABNT (2016, Definição), normalização é “atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem em um dado contexto”. Ainda de acordo com a ABNT, são objetivos da normalização, entre outros: “segurança, proteção do produto, **controle da variedade**, proteção do meio ambiente, **intercambialidade**, eliminação de barreiras técnicas e comerciais, **compatibilidade** e comunicação” (ABNT, 2016, Objetivos). Desses, destacam-se o controle de variedade, a intercambialidade e a compatibilidade, porque são

congêneres aos critérios identificados na bibliografia de referência ao tratar da coordenação modular.

A partir do conteúdo apresentado na seção anterior e principalmente tratando de coordenação modular, é pertinente adotar uma postura cuidadosa diante de definições de normalização como as identificadas em algumas das referências bibliográficas (ROSSO, 1976, p. 13²⁴; ANDRADE, 2000, p. 65) que mencionam a obtenção de produtos idênticos ou a utilização de uma mesma tecnologia. Tal afirmação poderia induzir um entendimento redutor, estático, que, na verdade, não é equivalente aos critérios almejados.

Baldauf (2004, p. 51), citando a ABNT (1975?)²⁵, e Andrade (2000, p. 15) explicam que um componente adequado à coordenação modular deve atender aos critérios de **seleção, intercambialidade e correlação**. A seleção é o controle da variedade de tipos; a intercambialidade diz respeito à equivalência (dimensional, associativa e funcional) entre componentes de mesmo propósito, mas com origens diferentes; a correlação trata da reciprocidade entre componentes de funções diferentes. No excerto a seguir, a autora (BALDAUF, 2004, p. 48) descreve o papel da normalização nesse processo:

Com normas técnicas bem elaboradas seguidas por um eficiente sistema de certificação, os componentes passam por uma padronização dimensional, a partir da qual têm as mesmas características dimensionais, e por uma redução da variedade de tipos, através do emprego de medidas preferidas a serem escolhidas na série de medidas preferíveis. A produção dos componentes é seriada, e não mais sob medida. Mesmo sendo produzidos por indústrias diferentes, essas características asseguram a intercambialidade entre eles, pois passam a ser compatíveis entre si, em função de suas dimensões serem múltiplas de módulo M. Dessa forma ruma-se à industrialização aberta.

Analogamente, Rosso (1976, p. 7-8) trata dos requisitos da coordenação modular no contexto da industrialização aberta, referindo-se à **redução da variedade**, à

²⁴ Na realidade, a definição apresentada por Teodoro Rosso (1976, p. 13) é mais ampla e pode ser considerada adequada, exceto pela ressalva feita quanto ao objetivo por demais restritivo: “é notório que normalização é por definição a regulamentação de qualquer fenômeno de produção com o intuito de obter a sua ordenação racional e unívoca: em outras palavras a normalização se propõe a obtenção de produtos idênticos, aplicando a mesma tecnologia, permitindo a sua permutabilidade: estabelece portanto uma linguagem comum constituída de símbolos e termos, define os objetos, seu campo de aplicação, seus característicos básicos, as tolerâncias de fabricação e seus limites, as normas de uso e desempenho, os controles e métodos de ensaio”.

²⁵ ABNT. **Síntese da coordenação modular**. Rio de Janeiro: [1975?].

permutabilidade e à **integração**. O autor esclarece que a permutabilidade pertence ao âmbito de cada subsistema da edificação, enquanto a integração (ou correlação) age entre subsistemas (ROSSO, 1976, p. 11). A permutabilidade possibilita, por exemplo, a substituição de uma porta de madeira por uma de alumínio e de um painel de concreto por uma divisória com chapas cimentícias; a integração garante condições como a associação entre elementos de vedação e portas, quaisquer sejam os materiais empregados.

Ainda conforme Rosso, a normalização para coordenação modular organiza-se em cinco ações: simplificação, tipificação, unificação, padronização e integração (ROSSO, 1976, p. 13). A simplificação elimina os elementos supérfluos fazendo a seleção dos componentes com maior aceitação. A tipificação organiza os elementos em classes ou famílias. A unificação reduz novamente os tipos por meio da combinação de famílias. A padronização determina uniformidade de características para uma família criando condições de permutabilidade. Finalmente, a integração estabelece compatibilidade entre elementos de categorias diferentes. Tipificação, unificação e simplificação podem ser ações exclusivas de um fabricante, mas a padronização é geral para todo um segmento, e a integração afeta diversos segmentos (ROSSO, 1976, p. 13-14).

Verifica-se uma variedade dos termos empregados pelos autores, mas a lógica comum pode ser reduzida a três bases:

- a) Seleção, redução ou **controle da variedade**;
- b) Permutabilidade ou **intercambialidade**;
- c) Integração, correlação ou **compatibilidade**.

A abordagem dessa tríade conduz naturalmente ao domínio da normalização.

Conforme relatado no referencial teórico desta dissertação, no Brasil, a normalização fez parte das ações em prol da coordenação modular desde seu início na década de 1940. O Plano de Implantação da Coordenação Modular – estudo realizado pelo Centro Brasileiro da Construção (CBC) e contratado pelo Banco Nacional da Habitação (BNH) de 1969 a 1971 – fazia importante referência à norma então vigente (NB-25/69). As pesquisas conduzidas pela equipe do plano

consideraram haver duas estratégias possíveis para a difusão da coordenação modular: a aplicação voluntária e a compulsória. A aplicação voluntária poderia ser obtida por políticas que integrassem uma norma recomendada, atividades de divulgação e ensino. A aplicação compulsória consistiria em uma norma tornada obrigatória por lei ou exigida para a obtenção de financiamento público e para a participação em concorrências públicas. Ao investigar iniciativas internacionais, a pesquisa do CBC identificou que, na maioria dos treze países consultados,²⁶ a norma tinha caráter compulsório para construções financiadas pelo Estado (BNH; CBC BOUWCENTRUM, 1970a²⁷ apud BALDAUF, 2004, p. 78).

Considerou-se que, embora ambas as estratégias fossem válidas, a aplicação compulsória tinha maior probabilidade de sucesso, desde que fosse acompanhada de instrumentos para viabilizar a adequação das partes interessadas (BNH; CBC BOUWCENTRUM, 1970a apud BALDAUF, 2004, p. 74). No entanto, verificou-se também que a indústria nacional ainda estava predominantemente alheia ao tema e que era pouco provável que tivesse condições de adaptar-se sem que recorresse a novos investimentos (BNH; CBC BOUWCENTRUM, 1970a apud BALDAUF, 2004, p. 75). “Uma norma sobre o tema deveria refletir as condições locais da indústria e do mercado, para que os preceitos pudessem ser obedecidos sem onerar desnecessariamente o custo de produção, o que seria um contrassenso” (BALDAUF, 20004, p. 75). A partir dessa constatação, a estratégia finalmente adotada durante a década de 1970 seguiu a aplicação voluntária, com a emissão de normas recomendadas, pesquisas e publicações específicas, canteiros experimentais e ações educativas (BALDAUF, 2004).

De 1969 a 1982, a ABNT, em convênio com o BNH, produziu 26 normas específicas ao tema,²⁸ das quais 25 permaneceram vigentes até 2010. Contudo, essas normas

²⁶ Alemanha, Argentina, Canadá, Chile, Dinamarca, Finlândia, França, Holanda, Índia, Inglaterra, Itália, Japão e Portugal.

²⁷ BNH; CBC BOUWCENTRUM. **Plano de implantação da coordenação modular**. BNH/CBC, 1. Etapa: 20 jan. 1970.

²⁸ 5706:1977 Coordenação modular da construção;

5707:1982 Posição dos componentes em relação à quadrícula modular de referência;

5708:1982 Vãos modulares e seus fechamentos;

5709:1982 Multimódulos;

5710:1982 Alturas modulares de piso a piso, de compartimento e estrutural;

5711:1982 Tijolo modular de barro cozido;

5712:1982 Bloco vazado modular de concreto – CANCELADA EM 23 out. 2006;

não tiveram sucesso em modificar o panorama geral da indústria nacional, sendo desconhecidas no meio técnico de arquitetos e engenheiros (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, Apêndice 4, ata de reunião 6/2009, p. 4; BALDAUF, 2004, p. 122). A avaliação de tais normas, apoiada pela bibliografia de referência (BALDAUF, 2004; BALDAUF; GREVEN, 2007; ABDI-FEC, 2009; KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, Apêndice 2²⁹), revela três problemas principais:

- a) a divisão do conteúdo em 26 textos independentes prejudicava a difusão das informações (ABDI-FEC, 2009, p. 14-15; KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, Apêndice 2, p. 19);
- b) as normas nacionais eram anteriores às normas vigentes internacionais (ISO) e estavam, portanto, desatualizadas (ABDI-FEC, 2009, p. 14-15);
- c) as normas apresentavam definições ora redundantes, ora ambíguas, prejudicando a compreensão (ABDI-FEC, 2009, p. 14-15; KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009; BALDAUF, 2004, p. 122, 126).

5713:1982 Altura modular de teto-piso (entre pavimentos consecutivos);
5714:1982 Paineis modulares verticais;
5715:1982 Local e instalação sanitária modular;
5716:1982 Componentes de cerâmica, concreto ou outro material utilizado em lajes mistas na construção coordenada modularmente;
5717:1982 Espaço modular para escadas;
5718:1982 Alvenaria modular;
5719:1982 Revestimentos;
5720:1982 Coberturas;
5721:1982 Divisória modular vertical interna;
5722:1982 Esquadrias modulares;
5723:1982 Forro modular horizontal de acabamento (placas, chapas ou similares);
5724:1982 Tacos modulares de madeira para soalhos na construção coordenada modularmente;
5725:1982 Ajustes modulares e tolerâncias;
5726:1982 Série modular de medidas;
5727:1982 Equipamento para complemento da habitação na construção coordenada modularmente;
5728:1982 Detalhes modulares de esquadrias;
5729:1982 Princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente;
5730:1982 Símbolos gráficos empregados na coordenação modular da construção;
5731:1982 Coordenação modular da construção.

²⁹ Apêndice 2: KAPP, Silke. **Análise crítica das normas de coordenação modular vigentes no Brasil**. Belo Horizonte, 2009, p. 3.

Predominavam definições terminológicas, ainda que 23 delas fossem identificadas como normas de “procedimento”.³⁰ O excesso de definições e a dispersão de conceitos que são, na verdade, indissociáveis conduzem à redundância e à ambiguidade que podem ser relacionadas à falta de êxito da normalização. Com frequência, as definições apresentadas requeriam o entendimento prévio de outros conceitos mais complexos que, em alguns casos, precisavam ser consultados em normas diferentes.

Tem-se como exemplo típico dessa situação a NBR 5707:1982, que define “quadrícula modular de referência” como “quadrícula com espaçamento entre suas linhas igual a 1M”, porém não informa que a medida normalizada para M é 100 mm (ABNT, 1982a, p. 1). A própria definição de coordenação modular constante nas normas NBR 5706:1977 *Coordenação modular da construção – procedimento* e na NBR 5731:1982 *Coordenação modular da construção – terminologia*, que, aliás, são entre si completamente redundantes, não é clara ao tratar do módulo básico decimétrico (1M = 100 mm):

2.1 Coordenação modular

Técnica que permite relacionar medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência.

2.2 Sistema de referência

Formado por pontos, linhas e planos aos quais devem relacionar-se as medidas de posições de componentes da construção.

2.3 Reticulado modular espacial de referência

Constituído pelas linhas de interseção de um sistema de planos separados entre si, por uma distância igual ao módulo e paralelos a três planos ortogonais dois a dois.

2.4 Quadriculado modular de referência

Quadriculado com espaçamento entre suas linhas igual a 1M.

2.5 Módulo básico

Distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência. Essa distância é 100 mm (ABNT, 1982x, p. 1).

Como comparação, a norma atual NBR 15873:2010 (ABNT, 2010b) faz uma progressão de definições mais objetivas:

2.5 coordenação dimensional

Inter-relação de medidas de elementos e componentes construtivos e das edificações que os incorporam, usada para seu projeto, sua fabricação e sua montagem

³⁰ As três exceções são NBR 5711:1982 *Tijolo modular de barro cozido – terminologia*; NBR 5730:1982 *Símbolos gráficos empregados na coordenação modular da construção – simbologia*; e NBR 5731 *Coordenação modular da construção – terminologia*.

2.6 *coordenação modular*

Coordenação dimensional mediante o emprego do módulo básico ou de um multimódulo (...).

2.17 *módulo básico*

Menor unidade de medida linear da coordenação modular, representado pela letra M, cujo valor normalizado é M = 100 mm

2.18 *multimódulo*

Múltiplo inteiro do módulo básico (ABNT, 2010b, p. 2-3).

Parece válida a avaliação de Kapp, Baltazar e Marcandier (2009, Apêndice 2, p. 5) ao apontar que a definição da coordenação modular presente nas normas NBR 5706:1977 e NBR 5731:1982 “não desfaz o equívoco muito difundido de que a coordenação modular seria qualquer coordenação dimensional ou qualquer junção de componentes construtivos pré-fabricados (que muitos profissionais chamam coloquialmente de ‘módulos’)”.

Quinze das 26 normas publicadas entre 1977 e 1982 tratavam de componentes ou sistemas construtivos específicos. Mas, ainda conforme Kapp, Baltazar e Marcandier (2009, Apêndice 2, p. 15), os conteúdos referentes a esses elementos eram “pobres e repetitivos”. “No fundo, a maior parte das normas apenas diz onde a coordenação modular deve ser praticada e quais elementos são dispensados dela, mas não diz propriamente em que consiste coordenar algo modularmente.” O trecho reproduzido a seguir indica claramente o problema predominante nessas normas específicas, que não apenas apresentavam dados incompletos, como também induziam à interpretação errada.

Chama atenção o fato de que a maior parte dessas normas tão fragmentadas de conteúdos específicos não esclarece que o módulo é de 10 cm e não remete à NBR 5706, a única que contém essa informação. Em outras palavras, o leitor pode utilizar qualquer uma dessas normas isoladamente e jamais saberá que o termo “modular”, empregado em toda parte, tem qualquer relação com a medida de 10 cm.

Suponhamos, por exemplo, que um cuidadoso fabricante de revestimentos consulte a ABNT antes de iniciar sua produção. Ele é remetido à NBR 5719:1982, intitulada “Revestimentos”. O que se lhe apresenta é, literalmente, o que está citado abaixo:

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis que se devem aplicadas aos revestimentos.

1.2 Esta Norma abrange os revestimentos com elementos simples ou compostos, aplicados horizontalmente ou verticalmente, na construção coordenada modularmente.

2 Condições Gerais

2.1 O comprimento e a largura do componente ou de um conjunto de componentes devem ser modulares. A sua espessura, não necessariamente modular, depende do material e de sua colocação.

2.2 Para os componentes com medidas não modulares, mas que associados apresentam em conjunto medidas modulares, deve-se dar preferência a que suas medidas, comprimento e largura, sejam iguais a $n \times M/4$.

2.3 A escolha das medidas modulares dos componentes devem [sic!] levar em consideração além das condições referentes a fabricação e aplicação, a maior flexibilidade e combinação destas medidas.

Isso é tudo. Se o dito fabricante pensar que sabe o que é “modular” – e todo o mundo pensa saber, pois trata-se de um termo comum na língua portuguesa –, provavelmente entenderá apenas que as medidas de seus componentes devem ser “casadas” de alguma forma e que a proporção 1:4 é privilegiada pela norma, sem que se indique o motivo. Mas se esse fabricante tiver ouvido falar que coordenação modular é um instrumento específico e que seu módulo é de 10 cm, também é improvável que fabrique um componente efetivamente coordenado. A própria norma o induz a dimensionar esse componente como múltiplo de 10 cm ou de 2,5 cm, de modo que, dependendo das juntas exigidas, ele não corresponderá a nenhum espaço modular (KAPP; BALTAZAR; MARCADIÉ, 2009, Apêndice 2, p. 15-16).

Um último aspecto a ser apontado é a falha da instituição normativa ao não incorporar corretamente as normas da coordenação modular na elaboração de outras normas nacionais. Já em 1969, o Plano de Implantação da Coordenação Modular fazia importante referência à norma então vigente (NB-25/69), recomendando que ela fosse levada a conhecimento de todas as comissões da ABNT encarregadas de normas para materiais de construção a fim de evitar publicações em desacordo com os requisitos da coordenação decimétrica (BALDAUF, 2004, p. 72-73). No entanto, há indícios de que não foi uma prática estabelecida. A ABDI-FEC (2009, p. 19-20) e Kapp, Baltazar e Marcandier (2009, Apêndice 2, p. 9-10) informam que a NBR 6136:2007 *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria* apresentava um entendimento incompatível não só às normas de coordenação modular nacionais, como também às normas internacionais.³¹ Ela tratava por “dimensões reais” o que é na verdade a medida nominal do componente e definia como medida nominal o que deveria ser medida modular. De modo semelhante, as normas NBR 15270-1:2005 *Componentes cerâmicos – parte 1: Blocos cerâmico para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos* e NBR 15270-2:2005 *Componentes cerâmicos – parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos* (ABNT, 2005a; ABNT, 2005b) não fazem referência às normas de coordenação modular e, conforme

³¹ Quanto a isso, cabe, entretanto, ressaltar que edição revisada NBR 6136:2014 apresenta definições corrigidas e faz referência à NBR 15873:2010.

aponta o relatório da ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 25), a terminologia constante em ambas “não corresponde à da coordenação modular e à das normas ISO, nem tampouco é igual à terminologia da NBR 6136 referente a blocos de concreto”.

Diante de tais problemas e conforme abordado no referencial teórico desta dissertação, parte significativa do esforço de retomada da disciplina desde o início deste século esteve relacionada à revisão das normas de coordenação modular.

As ações da Finep e das entidades participantes do Acordo de Cooperação Técnica conduziram, em 2009, à reabertura da Comissão de Coordenação Modular para Edificações (CE-02:138.15), que pertence ao Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-02) na ABNT (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, p. 50; ABNT, 2010b, p. iv). Disso resultou a norma NBR 15873:2010 *Coordenação modular para edificações* que substituiu as 25³² normas técnicas anteriores (ABNT, 2010b).

A NBR 15873:2010 foi elaborada durante nove reuniões que tiveram início em 25 de junho de 2009 com a reativação da Comissão de Estudo. O texto de seu projeto de norma ficou disponível para consulta nacional de fevereiro a junho de 2010, período em que foram recebidos comentários para aprovação, alteração ou desaprovação do projeto. Após deliberação sobre as sugestões obtidas na consulta, alcançado o consenso para o texto definitivo, na reunião da comissão em 5 de julho de 2010, o projeto foi aprovado como norma brasileira (KAPP; BALTAZAR; MARCANTIER, 2009, Apêndice 4).

A nova norma define os termos, o valor do módulo básico e os princípios internacionalmente acordados da coordenação modular. Seu objetivo principal é facilitar a aplicação dos conceitos e transformar todas as normas anteriores em um único texto, além de incorporar três normas internacionais (ISO) que eram posteriores às normas nacionais³³ (AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010a, p. 11). A análise da NBR 15873:2010 (ABNT, 2010b) revela que ela é, de fato, uma organização das informações apresentadas nas normas predecessoras. Há nítidas

³² A NBR 5712:1982 *Bloco vazado modular de concreto* já havia sido cancelada em 2006.

³³ ISO 1791:1983 *Building Construction – Modular Coordination – Vocabulary*; ISO 1006:1983 *Building Construction – Modular Coordination – Basic Module*; ISO 2848:1984 *Building Construction – Modular Coordination – Principles and Rules*.

simplificação e objetividade na apresentação do conteúdo, além da correção dos problemas de terminologia já apontados.

Todavia, é importante a ciência de que a simplificação e a objetividade estão acompanhadas da exclusão de conteúdo. A NBR 15873:2010 não trata de questões como o projeto modular, o posicionamento dos componentes modulares, a definição de alturas modulares de piso a piso e piso a teto e a eleição de multimódulos preferidos. Também não estão presentes diretrizes específicas sobre a forma de aplicação do método para o dimensionamento de diferentes elementos do edifício, conteúdos que apareciam (ainda que de forma extremamente superficial) nas quinze normas anteriores direcionadas a componentes e sistemas construtivos.

Entre as várias normas canceladas que não tiveram seu conteúdo incorporado à NBR 15873:2010, é possível destacar a NBR 5726:1982 *Série modular de medidas – procedimento* e a NBR 5729:1982 *Princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente – procedimento*. Além disso, das normas internacionais vigentes relativas ao tema, dez não foram relacionadas como elementos de referência usados para a nova norma.³⁴

É interessante resgatar das atas das reuniões da Comissão de Estudo de Coordenação Modular para Edificações (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, Apêndice 4) dados que revelam um pouco do que pode ter conduzido à definição do conteúdo da norma. As dúvidas e sugestões que acompanharam as recomendações feitas durante a Consulta Nacional, ainda que poucas, oferecem pistas sobre a preocupação que a normalização suscita junto à indústria de componentes e possibilita, por parte desta dissertação, algumas análises.

³⁴ As normas internacionais que não foram citadas por Amorim, Kapp e Eksterman (2010a, p. 11) como referência para a NBR 15873:2010 são: ISO 6513:1982 *Building Construction – Modular Coordination – Series of Preferred Multimodular Sizes for Horizontal Dimensions*; ISO 6514:1982 *Building Construction – Modular Coordination – Sub-Modular Increments*; ISO 1040:1983 *Building Construction – Modular Coordination – Multimodules for Horizontal Coordinating Dimensions*; ISO 6512:1982 *Building Construction – Modular Coordination – Storey Heights and Room Heights*; ISO 6511:1982 *Building Construction – Modular Coordination – Modular Floor Plane for Vertical Dimensions*; ISO 3381:1977 *Building Construction – Modular Co-ordination – Stairs and Stair Openings – Co-Ordination Dimensions*; ISO 2777:1974 *Building Construction – Modular Co-Ordination – Co-Ordinating Sizes for Rigid Flat Sheet Boards Used in Building*; ISO 2776:1974 *Building Construction – Modular Co-Ordination – Co-Ordinating Sizes for Doorsets – External and Internal*; ISO 3443-3:1987 *Tolerances for Building – Part 3: Procedures for Selecting Target Size and Predicting Fit*; ISO 3443-1:1979 *Tolerances for Building – Part 1: Basic Principles for Evaluation and Specification*.

Como exemplo, em um dos quatro questionamentos emitidos pela Associação Nacional dos Fabricantes de Esquadrias de Aço (Afeço), a entidade explica que as portas de madeira (com medidas 72 cm, 82, cm e 92 cm), quando associadas aos batentes de aço e alumínio, resultam em larguras nominais de 77 cm, 87 cm e 97 cm, e a partir disso pergunta que segmento industrial, se a indústria das portas de madeira ou a indústria de batentes metálicos, deverá aumentar a largura de seus produtos para que a medida de coordenação chegue a 80 cm, 90 cm ou 100 cm. Em resposta, a ata da reunião de análise à Consulta Nacional informa que o questionamento foi esclarecido, e o texto, aprovado, mas não diz qual foi o esclarecimento feito (KAPP; BALTAZAR; MARCANDER; 2009, Apêndice 4). Independentemente do que tenha sido acordado entre as partes em reunião, considera-se aqui que esse é um exemplo de uma situação típica de integração entre fabricantes de diferentes segmentos que não é solucionada pelo texto da norma NBR 15873:2010. Ainda que conceitualmente esteja claro que porta e batente formam juntos um conjunto modular que deve respeitar em seu contorno externo os princípios da coordenação decimétrica, as medidas não modulares dos componentes desse conjunto precisam ser também padronizadas para que haja compatibilidade e permutabilidade.

Pode-se também tomar como exemplo o questionamento da Gerdau Aços Longos quanto à altura não modular do conjunto viga e laje. A empresa explica que a associação de viga metálica, laje *steel deck* e capa de concreto resulta na altura não modular de 43,5 cm e afirma que a exigência pela modularidade do conjunto poderia inviabilizar a aplicação desse tipo de estrutura por duas razões: a) impossibilidade de variação de altura do conjunto viga metálica³⁵ e a laje *steel deck*; e b) prejuízo econômico de aumentar em 6,5 cm a espessura da capa de concreto. Em resposta a esse questionamento (e também a outros similares), a Comissão de Estudo incluiu na introdução da norma a orientação de que os “princípios de coordenação modular não são de caráter obrigatório, cabendo aos responsáveis pelos projetos e produção

³⁵ A altura total de 435 mm, conforme descreve o fabricante, é a soma de viga metálica de 305 mm, laje *steel deck* de 75 mm e capa de concreto de 55 mm. Acerca da altura não modular da viga metálica (305 mm), convém observar que resulta do dimensionamento no sistema pé-polegada (1 pé).

de componentes construtivos definir a amplitude de sua aplicação a cada caso” (KAPP; BALTAZAR; MARCANDER, 2009, Apêndice 4).

Neste caso, novamente, a solução oferecida ao questionamento pode servir para tranquilizar o fabricante, mas não propõe uma solução técnica que contribua para a aplicação do sistema. Percebe-se, então, que o que falta é a explicação das particularidades que existem na determinação das alturas do conjunto viga e laje, de piso a piso e piso a teto, e das possíveis estratégias de compatibilização de alturas não modulares da estrutura com as alturas modulares dos sistemas de vedação. Se considerados apenas os critérios básicos da NBR 15873:2010, seria possível deduzir que o conjunto viga e laje não modular seria fatalmente inadequado para um sistema coordenado modularmente. No entanto, a partir de Rosso (1976), já sabia-se que o conjunto viga e laje não é obrigatoriamente modular porque, em edifícios com estrutura e vedações independentes, a altura do encunhamento (ou de outros modos de preenchimento sobre a última fiada da alvenaria) pode acomodar um ajuste de dimensões. De forma semelhante, os textos de algumas das normas canceladas (NBR 5710:1982 *Alturas modulares de piso a piso, de compartimento e estrutural*; NBR 5713:1982 *Altura modular de teto-piso*; e NBR 5721:1982 *Divisória modular vertical interna*) apresentavam a ideia de que a modulação vertical pode adotar como referência a altura de piso a piso, de compartimento ou estrutural, dependendo dos condicionantes do projeto e do sistema construtivo adotado; além disso, aquelas normas também assinalavam que, para esses casos, existem recursos que permitem o ajuste de alturas não modulares.

É visível que há supressão de conteúdo não só em relação às normas anteriores, mas também à teoria já estabelecida. A “Análise crítica das normas de coordenação modular vigentes no Brasil” (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, Apêndice 2) – estudo desenvolvido no contexto da Rede Colaborativa de Pesquisa-Finep que precedeu a elaboração da NBR 15873:2010 – apresentava uma primeira aproximação do conteúdo pretendido na revisão normativa estruturado em cinco subitens:

- a) Para o objetivo da norma;
- b) Para a terminologia;

- c) Para a explicação da determinação dos ajustes modulares de componentes coordenados;
- d) Para a explicação do posicionamento de componentes no sistema coordenador;
- e) Para as medidas preferíveis.

Desses subitens, a explicação do posicionamento dos componentes no sistema coordenador (que se refere ao projeto modular) e o sistema de medidas preferíveis não foram incluídos no texto da norma.

A consulta das atas da Comissão de Estudo de Coordenação Modular para Edificações revela que, na quarta reunião de elaboração da NBR 15873, discutiu-se a pertinência de menção ao posicionamento limítrofe ou axial dos componentes em relação ao sistema de referência. Os registros indicam que foi decidido não estabelecer uma diretriz nesse sentido, porque as práticas existentes são diversas e igualmente válidas (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, Apêndice 4).

Quanto à definição de medidas preferíveis, o *Relatório de avaliação dos esforços para implantação da coordenação modular no Brasil* (ABDI-FEC, 2009, p. 16-17) explica que é possível reduzir a variedade de medidas praticadas por meio de séries de multimódulos, mas considera que a definição dessas séries não deve ser feita previamente, já que a demanda de mercado funcionará naturalmente como fator de seleção dimensional. “Ao longo do tempo, diferentes setores poderão se organizar para o estabelecimento de séries concernentes, especificamente, a determinados produtos ou segmentos” (ABDI-FEC, 2009, p. 17). O mesmo relatório entende que havia uma intenção de fixar multimódulos e medidas modulares nas normas desenvolvidas entre 1977 e 1982 e que tal postura prescritiva é prejudicial às inovações necessárias para a evolução natural das indústrias (ABDI-FEC, 2009, p. 12). Não há nas atas de reunião da Comissão de Estudo registro sobre decisão relativa à definição de multimódulos ou séries dimensionais preferíveis, mas, considerando que o relatório da ABDI-FEC foi resultado do mesmo Acordo de Cooperação Técnica que conduziu a revisão da norma, entende-se que a postura “pouco prescritiva” presente no relatório pode ter sido predominante durante a elaboração do texto da NBR 15873:2010.

No entanto, ainda que o processo ocorrido na primeira década deste século pareça direcionar-se para uma simplificação da normalização a fixar apenas princípios gerais, essa não é uma postura unânime. Estabelecendo uma visão contrária, Baldauf (2004, p. 122) e Baldauf e Greven (2007, p. 60) associam, em parte, o fracasso das normas anteriores canceladas à falta de prescrição de dimensões para os componentes e os vãos da construção.

É pertinente uma reflexão quanto ao grau de prescrição dimensional a ser estabelecido pela normalização técnica.

Deve-se considerar que existe uma dificuldade em estabelecer uma norma geral restritiva porque há interesses distintos e questões técnicas variadas. A ABNT atesta que uma norma técnica representa “o consenso sobre o estado da arte de determinado assunto” (ABNT, 2016), mas, conforme já apontava Rosso (1976, p. 15), “não é plausível pensar que este consenso seja obtido com facilidade”. Igualmente, deve-se lembrar a descrença registrada por Krislov (1997, p. 209, 212-213) diante do modelo de mútuo acordo devido à desigualdade de condições entre os diferentes envolvidos nessa tomada de decisão.

Por um lado, é imprescindível que a normalização considere a experiência acumulada pelos produtores, “caso contrário apenas estamos determinando regras arbitrariamente estipuladas por teóricos” (ROSSO, 1976, p. 63). Por outro, pode-se indagar, partindo das considerações feitas na seção anterior, em que medida os compromissos da negociação afetam o panorama técnico e como o poder financeiro da indústria influencia o texto final da norma. Além disso, é fácil deduzir, pela própria especificidade do tema que não atrai ampla participação da sociedade, que a negociação seja dominada por algumas entidades, por natureza, já envolvidas na discussão.

De acordo com a ABNT (2016), os comitês técnicos responsáveis pela elaboração de uma norma devem compatibilizar os interesses de produtores, consumidores e representantes neutros (universidades, entidades de pesquisa, governo etc.). O Quadro 4 a seguir, elaborado a partir das atas de reunião Comissão de Estudo de Coordenação Modular, indica que a elaboração da NBR 15873:2010 teve uma

participação equilibrada de entidades neutras e de produtores,³⁶ mas participação reduzida da classe consumidora.

Quadro 4 - Comissão de Estudo para elaboração da NBR 15873:2010

CE-02:138.15 - Comissão de Estudo de Coordenação Modular para Edificações

COORDENADOR: Mario William Esper (Entidade: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP)

RELATORA: Silke Kapp (Entidade: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG)

SECRETÁRIO: Roberto Godoi (Entidade: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP)

REUNIÕES	DATA	PARTICIPANTES*			
		NEUTRO	PRODUTOR	CONSUMIDOR	TOTAL
REUNIÃO DE REATIVAÇÃO	25/6/2009	9 23%	23 58%	8 20%	40
REUNIÃO 01 2009	16/7/2009	não constam dados sobre participação			
REUNIÃO 02 2009	4/8/2009	10 43%	10 43%	3 13%	23
REUNIÃO 03 2009	4/9/2009	11 46%	11 46%	2 8%	24
REUNIÃO 04 2009	2/10/2009	11 48%	9 39%	3 13%	23
REUNIÃO 05 2009	6/11/2009	6 35%	9 53%	2 12%	17
REUNIÃO 06 2009	4/12/2009	9 60%	5 33%	1 7%	15
REUNIÃO 01 2010	15/1/2010	5 36%	7 50%	2 14%	14
ANÁLISE CONSULTA NACIONAL	5/7/2010	6 33%	8 44%	4 22%	18
MÉDIA		40%	46%	14%	

* Classificação dos participantes conforme registro de atas de reunião da Comissão de Estudo.

A classe Consumidores inclui representantes de empresas de arquitetura e engenharia, construtoras e entidades tais como Asbea, Secovi, Abece, Sinduscon e Fiesp.

A quantificação considera apenas os participantes que tiveram sua classe registrada na ata de reunião.

Fonte: elaboração própria.

Dados: Kapp, Baltazar e Marcandier, 2009, Apêndice 4.

³⁶ Essa polarização pode ser explicada pela própria origem da revisão normativa, que se deu por iniciativa mista da Rede colaborativa de pesquisa sobre coordenação modular – Finep (sete universidades federais e uma estadual) e do Acordo de Cooperação Técnica, que envolveu o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), o Ministério das Cidades (MCidades), a Caixa Econômica Federal (CEF) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), a Federação da Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) e a Fundação Euclides da Cunha (FEC).

Mesmo entre os segmentos industriais para a construção civil, as opiniões sobre “o que deve ser normalizado” e “como normalizar” diferem. As atas de reunião da Comissão de Estudo de Coordenação Modular revelam que, em vários momentos, os participantes se mostravam preocupados com requisitos que eventualmente não pudessem ser adequadamente solucionados em sua indústria. Silke Kapp, coordenadora do projeto de pesquisa da UFMG na Rede Colaborativa de pesquisa sobre coordenação modular – Finep e posteriormente relatora Comissão de Estudo de Coordenação Modular, relata os desafios de conciliação de interesses que atuaram no processo:

Na nossa interpretação, o processo foi muito mais moroso do que o necessário do ponto de vista técnico, evidenciando o quanto a definição de normas é, na verdade, uma disputa de poder. As discussões eram sempre perpassadas por receios de que um ou outro segmento auferisse vantagens particulares da nova definição. Além disso, a grande maioria dos representantes das diversas entidades – sobretudo da indústria da construção e da indústria de materiais e componentes para a construção – desconhecia o assunto. Como houve muitas mudanças nessa representação, as discussões em vez de avançar, se repetiram inúmeras vezes (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, p. 50).

Talvez por consequência desses desafios, a NBR 15873:2010 não ensaia nenhuma prescrição de dimensionamento ou diretriz de projeto para casos particulares. Por si, o conteúdo genérico da NBR 15873:2010 não oferece dados suficientes para o estabelecimento da tríade: controle da variedade, permutabilidade e compatibilidade. Assim, para seu sucesso, torna-se dependente de estratégias complementares.

Com efeito, a NBR 15873:2010 (ABNT, 2010b, p. 1) orienta que seu conteúdo deve ser observado “na elaboração de normas específicas concernentes à definição de medidas e tolerâncias de componentes construtivos”, indicando a intenção de servir como base para normas mais detalhadas, possivelmente em ação conjunta com outras comissões a fim de normalizar segmentos da indústria. Considerando o risco de superpadronização e estagnação indicado por Krislov (1997, p. 15), é possível que esta seja uma postura adequada: elaborar uma norma-mãe abrangente que direcione uma normalização mais coerente em cada segmento.

O que parece, no entanto, ser consenso entre as referências consultadas é que, prevalecendo caráter voluntário da normalização técnica, não se mostra razoável pensar que isso será suficiente para implantação da conformidade em um segmento

tão complexo. Já em 1976, Teodoro Rosso (1976, p. 14-15) alertava que a ação dos órgãos normalizadores era superestimada ao considerá-la suficiente para determinar as condições de implantação da coordenação modular. Em concordância, Baldauf (2004, p. 126) indica que a normalização deveria ser complementada por instrumentos legais estabelecidos pelo poder público para estimular sua adoção voluntária ou até, em etapa posterior, instituir a aplicação compulsória com a inclusão em códigos de edificações e condicionamento para a obtenção de financiamentos e participação em concorrências públicas. A autora propõe um “posicionamento mais radical por parte dos órgãos de estímulo e financiamento para aquisição de equipamentos industriais importados, o BNDES, por exemplo, com o intuito de não se ter equipamentos com outro sistema de medidas” (BALDAUF, 2004, p. 126).

3.2.1 Estratégias de implementação

Quando se trata de verificar ou regulamentar a conformidade à norma, o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), com os respectivos Programas Setoriais da Qualidade (PSQs), e também o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) têm grande potencial de ação.

O PBQP-H é um programa do governo federal instituído em 1998 pelo então Ministério do Planejamento e Orçamento, que hoje pertence ao Ministério das Cidades. O PBQP-H tem como objetivo agir sobre duas questões da construção civil: a melhoria da qualidade do habitat³⁷ e a modernização produtiva. O programa tem participação voluntária, sendo que o Estado age como indutor para adesão do setor privado e contratantes públicos (PBQP-H, 2016).

O PBQP-H abriga programas diversos que incluem, entre outras, ações de qualificação de empresas e profissionais, capacitação de laboratórios e cooperação técnica (PBQP-H, 2016). Entre os vários programas, destaca-se, para a coordenação modular, o Sistema de Qualificação de empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos (SiMaC). O SiMaC atua no combate à não

³⁷ O termo “habitat” passou, no ano 2000, a substituir “habitação” no escopo do programa, com o objetivo de englobar também as áreas de saneamento e infraestrutura urbana (http://pbqp-h.cidades.gov.br/pbqp_historico.php).

conformidade às normas técnicas na fabricação, importação e distribuição de materiais e componentes por meio de Programas Setoriais da Qualidade (PSQs) (SEBRAE, 2015). Os Programas Setoriais de Qualidade são organizações voluntárias originadas por entidades de produtores próprias de cada segmento-alvo. Atualmente, existem 27 programas de qualidade credenciados no PBQP-H.³⁸ Cada um desses programas possui seus respectivos textos de referência e publica trimestralmente relatórios que contêm as listas de empresas qualificadas e empresas não conformes (PBQP-H, 2016).

A importância do SiMaC na ação contra a não conformidade partiu do diagnóstico feito pelo Ministério das Cidades de duas tendências nos segmentos de materiais de construção: a deterioração da qualidade dos produtos e o crescimento da atividade de não conformidade intencional. O ministério explica que até 10% da produção em não conformidade, relacionada à falta de capacitação tecnológica, não desestabiliza o mercado. O grave problema que compromete a qualidade em um segmento é causado por poucas empresas com capacitação tecnológica e volume significativo de produção que praticam a não conformidade intencional. Além disso, segundo o ministério, o trabalho do SiMaC já tem como resultado a redução do percentual médio de não conformidade de 50% para aproximadamente 20%, mas não informa o período em que essa redução foi alcançada (PBQP-H, 2016).

Os resultados dos programas setoriais são traduzidos em acordos entre o setor privado e público, bem como agentes financeiros, que definem metas e estabelecem a prática do uso do poder de compra (PBQP-H, 2016). O poder de compra é, de acordo com o Ministério das Cidades, uma das estratégias mais importantes do programa, já que privilegia os fabricantes que optam pela qualidade e garante a boa

³⁸ Aparelhos economizadores de água; Argamassa colante; Barras e fios de aço; Blocos cerâmicos; Blocos de concreto e peças de concreto para pavimentação; Cimento Portland; Componentes para sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall; Eletrodutos plásticos para sistemas elétricos de baixa tensão em edificações; Esquadrias de aço; Esquadrias de alumínio; Esquadrias de PVC; Fechaduras; Geotêxteis não tecidos; Lajes pré-fabricadas; Louças sanitárias para sistemas prediais; Metais sanitários; Painéis de partículas de madeira (MDP) e Painéis de fibras de madeira (MDF); Perfis de PVC para forros; Pisos laminados fornecidos em réguas; Placas cerâmicas para revestimento; Reservatórios de poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV) – PSQ suspenso a pedido da Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (Almaco); Reservatórios poliolefinicos para água potável de volume até 2.000 L (inclusive); Telhas cerâmicas; Tintas imobiliárias; Tubos de PVC para infraestrutura; Tubos e conexões de PVC para sistemas hidráulicos prediais; Tubulações de PRFV para infraestrutura – PSQ suspenso a pedido da Associação Brasileira de Materiais Compósitos (Abmaco) (http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac_psq.php).

aplicação dos recursos públicos em licitações (PBQP-H, 2016). A Caixa Econômica Federal, ainda segundo o Ministério das Cidades, tem sido o principal agente no que se refere ao uso do poder de compra, porque oferece financiamentos específicos para empresas qualificadas (PBQP-H, 2016). O Sebrae (2015, p. 2), em relatório de outubro de 2015 para o setor da construção civil, também destaca os retornos alcançados pelas empresas que participam do PBQP-H, entre os quais a facilitação na participação em licitações públicas e na obtenção de financiamento (tanto público quanto privado).

O papel do PBQP-H ao agregar as esferas pública e privada foi destacado por Baldauf (2004, p. 124), que o caracteriza como “grande articulador de todo o setor da indústria da construção civil” e “um instrumento de grande força para a implementação da coordenação modular”.

Todavia, sobre os Programas Setoriais de Qualidade, valem algumas considerações. É importante verificar os requisitos dos programas³⁹ quanto à recomendação de adoção dos princípios da coordenação modular e da NBR 15873:2010, uma vez que, em uma avaliação preliminar, constatou-se que não são mencionados. Deve-se também analisar a compatibilidade entre as definições de programas setoriais diferentes, por exemplo, de esquadrias de aço, alumínio e PVC. Reconhecido o mérito dos PSQs na ação contra a não conformidade, se a padronização dimensional estabelecida for inadequada sob a ótica da coordenação modular, pode-se configurar um obstáculo ainda maior. Deve-se também considerar que os Programas Setoriais de Qualidade são programas de autorregulação e, como tanto, tenderão ao autofavorecimento. Assim, potencializam-se as considerações (já feitas sobre as normas técnicas) relativas ao predomínio dos interesses da indústria e aos compromissos feitos para a obtenção de um consenso. Essa afirmação não significa que benefícios ao consumidor serão inexistentes, mas que mudanças podem não ser implantadas se houver implicações inconvenientes para os fabricantes.

³⁹ Os textos de referência e os relatórios trimestrais para os respectivos PSQs podem ser consultados em http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac_psqqs.php.

Parece natural, no âmbito do PBQP-H, a criação de um programa para coordenação modular que aja sobre os programas setoriais para que sejam incluídos requisitos compatíveis com a NBR 15873:2010 e para verificar a correlação entre cada um deles. Ideia similar já era proposta por Baldauf (2004, p. 124) ao sugerir para PBQP-H um programa específico para a coordenação modular com recursos para mobilizar os diferentes intervenientes e agir na renovação de normas, certificação de componentes, ensino e sensibilização de profissionais e consumidores.

Avaliação semelhante pode ser feita sobre o papel do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) na padronização dimensional para coordenação modular.

O Inmetro é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (Mdic) que tem entre suas atribuições: manter e verificar padrões de unidades, métodos e instrumentos de medição; estabelecer políticas nacionais e participação internacional em metrologia e qualidade; executar atividades de acreditação de laboratórios, organismos de certificação, inspeção e treinamento; e desenvolver programas de avaliação da conformidade compulsórios ou voluntários (INMETRO, 2016). O Inmetro age em parceria com o PBQP-H por meio do Comitê Nacional de Desenvolvimento Tecnológico da Habitação (Ctech) e da Comissão Nacional do Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos (CNMac) e como entidade credenciadora para o Sistema de Avaliação da Conformidade de empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAC) (PBQP-H, 2016).

O instituto é citado por Baldauf (2004, p. 102-106) e Baldauf e Greven (2007) devido sua importância em relação à verificação da conformidade dos produtos para certificação compulsória e voluntária. Para Baldauf, o Inmetro é um agente essencial para a implementação da normalização de coordenação modular, uma vez que poderia realizar ensaios e verificar o atendimento às dimensões modulares decimétricas dos produtos brasileiros (BALDAUF, 2004, p. 123).

Em 2008, período em que houve uma convergência de ações em prol da coordenação modular no Brasil, Hélio Adão Greven falou em entrevista à revista *Téchne* (LOTURCO, 2008) sobre a necessidade de medidas que conduzissem à conformidade da indústria por meio de facilitação da adequação e de controle

rigoroso da conformidade. Citou o papel do Inmetro e explicou que este poderia fazer a verificação de conformidade e, teoricamente, até aplicar multas em caso negativo. O autor não chega a defender a instituição de multas, mas, com elas, ilustra o potencial alcance da contribuição do instituto. A esse respeito, porém, cabe uma ressalva. Em 2008, a NBR 159873:2010 ainda não havia sido elaborada. Atualmente, seu texto estabelece que os “princípios da coordenação modular não são de caráter obrigatório, cabendo aos responsáveis pelos projetos e produção de componentes construtivos definir a amplitude de sua aplicação a cada caso” (ABNT, 2010b, p. v). Portanto, hoje não é possível exigir conformidade à coordenação modular baseando-se exclusivamente nessa norma. São necessários instrumentos complementares que estabeleçam sua aplicabilidade a cada caso.

Ainda tratando-se da atuação do Inmetro, Baldauf (2004, p. 105) relata que a análise de conformidade dos materiais de construção praticada pelo instituto objetiva informar consumidores e fornecer dados para os Programas Setoriais de Qualidade (PSQs), mas que para isso não faz referência à normalização de coordenação modular. A autora estabelece uma crítica ao dizer que “uma mercadoria pré-medida junto ao Inmetro, como uma peça cerâmica com certificação voluntária, por exemplo, recebe um selo da instituição e os dizeres: ‘em conformidade com as normas técnicas’. Mas quais são elas?” (BALDAUF, 2004, p. 126). Lembra-se aqui, então, que, como Krislov (1997) já indicou, certificações podem ser um instrumento prejudicial se não houver informação adequada sobre o que está sendo certificado. Nesse caso, a padronização dimensional conforme os princípios da coordenação modular decimétrica não é certificada. Novamente, entende-se que, se a verificação de conformidade e a certificação não considerarem a coordenação modular, podem ser reforçadas práticas dimensionais inadequadas.

É, portanto, necessário verificar a inclusão de diretrizes de coordenação modular com recomendações setoriais específicas no PBQP-H e no Inmetro para que os resultados esperados sejam atingidos.

3.3 DIMENSIONAMENTO PRATICADO

Esta subseção faz uma avaliação do estágio de padronização e da conformidade à coordenação modular para alguns segmentos de componentes industrializados da construção. O objetivo é oferecer um diagnóstico geral do problema. Devido ao recorte desta dissertação, com exceção de algumas verificações pontuais indicadas, não foram efetuadas coleta de dados nem medições diretas. As informações apresentadas são fruto da pesquisa bibliográfica em referências que trataram especificamente da questão. Assim, é relevante mencionar as duas referências bibliográficas principais utilizadas.

A primeira é o *Relatório de avaliação dos esforços para implantação da coordenação modular no Brasil* publicado pela ABDI em 2009 (ABDI-FEC, 2009). O relatório que precedeu a elaboração da NBR 15873:2010 apresentou uma avaliação da conformidade dos componentes à coordenação modular, utilizando dados técnicos disponibilizados por fabricantes, assim como avaliações já realizadas pelas próprias entidades do segmento. Em alguns casos, também foi realizada a comparação entre dados de catálogo, dados em embalagens e medidas reais. Conforme esclarece a entidade, o exame concentrou-se em empresas com disponibilidade de dados, fato tido como indicador do nível de estruturação de cada segmento avaliado.

A segunda referência são quatro dos já mencionados cadernos do *Manual de práticas recomendadas da coordenação modular* que seguiram a publicação da NBR 15873:2010 (AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010). Os cadernos 2 – Vedações, 3 – Revestimentos, 4 – Coberturas e 5 – Esquadrias apresentam informações sobre os componentes disponíveis no mercado, recomendações para as respectivas indústrias, bem como práticas a ser observadas para sua inserção no projeto arquitetônico.

As informações coletadas na bibliografia foram também verificadas junto às normas da ABNT atualmente vigentes relativas a cada segmento. Foram identificadas, quando pertinente, as revisões na normalização específica de um segmento que seguiram a publicação da NBR 15873:2010.

3.3.1 Vedações

3.3.1.1 Blocos de concreto

Os blocos vazados de concreto para alvenaria (com ou sem função estrutural) têm suas características dimensionais definidas pela NBR 6136:2014 (ABNT, 2014a), que já faz referência à norma mais recente de coordenação modular, NBR 15873:2010. Essa edição de 2014, atualmente vigente e que substitui a versão de 2007, corrige o uso dos termos “dimensões nominais” e “dimensões reais” e introduz a definição de “dimensões modulares” (ABNT, 2014a; ABNT, 2007).

As medidas determinadas pela NBR 6136:2014 para os blocos de concreto vazados são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Dimensões normalizadas para blocos de concreto

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140
	<p>NOTA 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento.</p> <p>NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873.</p> <p>NOTA 3 As dimensões da canaleta <i>J</i> devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.</p>									

Fonte: NBR 6136:2014 – *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos* (ABNT, 2014a, p. 5).

O *Relatório de avaliação dos esforços para implantação da coordenação modular no Brasil* (ABDI-FEC, 2009) examinou os produtos de dezenove empresas diferentes

(Quadro 6) e, a partir disso, fez algumas observações. Apurou que a indústria nacional já produzia, em sua maioria, blocos de concreto modulares ou passíveis de formar conjunto modulares. Verificou também que há uma familiaridade com o raciocínio: “medida de coordenação = medida nominal + ajuste de coordenação”, ainda que nos catálogos prevaleça a indicação das medidas nominais, não das medidas de coordenação (ABDI-FEC, 2009, p. 23). Além disso, a altura de coordenação está padronizada em 2M (ou 20 cm) em todas as famílias disponíveis.

De acordo com o mesmo relatório, a família 15 x 40 cm era a mais presente no mercado, não obstante sejam blocos com largura de coordenação não modulares, e sim passíveis de formar conjuntos modulares (ABDI-FEC, 2009, p. 20). Identificou também uma presença forte da família 20 x 40 cm disponibilizada por dezoito dos dezenove fabricantes consultados. As famílias com dimensões remanescentes da coordenação octamétrica (12,5 x 40 cm e 12,5 x 25 cm) eram relativamente menos produzidas (ABDI-FEC, 2009, p. 24).

Quadro 6 - Blocos de concreto: dimensionamento conforme catálogo

Fonte: elaboração própria.

Dados: ABDI-FEC (2009, p. 24).

Como conclusão, a ABDI faz a seguinte avaliação:

As Linhas 15 x 30, 15 x 40 e 7,5 x 40 são especialmente desfavoráveis (...). Para que seja integrado a edificações coordenadas modularmente é preciso introduzir blocos de compensação e é preciso que os projetos de alvenaria operem com conjuntos (de duas vezes 15 cm ou quatro vezes 7,5 cm) em todas as dimensões afetadas pela largura dos blocos. Essas exigências de projeto se tornam mais complexas quanto mais componentes individuais não modulares são empregados. Pode-se chegar a uma situação em que o esforço para manter a Coordenação Modular será maior do que seus benefícios. Nesse sentido, caberia estimular o uso das Linhas de blocos modulares [20 x 40 e 10 x 40 cm] e desestimular o uso das Linhas não modulares.

As Linhas com largura de coordenação de 12,5 cm são remanescentes da coordenação octamétrica, cujo módulo básico é 100/8, isto é, 12,5 cm. Na Linha 12,5 x 25, ela é empregada de modo coerente (exceto pela altura dos blocos, que é sempre de 20 cm). Já na Linha 12,5 x 40, ela se mistura com a coordenação modular decimétrica, o que torna a aplicação ainda mais ilógica (ABDI-FEC, 2009, p. 22).

3.3.1.2 Blocos cerâmicos

As normas brasileiras vigentes e pertinentes ao dimensionamento dos blocos cerâmicos são a NBR 15270-1:2005 para alvenaria de vedação e a NBR 15270-2:2005 para alvenaria estrutural (ABNT, 2005a; ABNT 2005b). Nenhuma delas faz referência direta às normas de coordenação modular vigentes na época de sua elaboração (anterior à NBR 15873:2010). Além disso, a terminologia constante em ambas as normas não corresponde ao conteúdo da NBR 15873:2010 e nem da NBR 6136:2014 referente a blocos de concreto. Seria conveniente que uma nova edição estabelecesse uma terminologia homogênea no segmento como forma de promover a adequação dos catálogos das empresas.

Não obstante à inadequação de terminologia, o conteúdo das tabelas de medidas normalizadas (tanto para alvenaria de vedação quanto para alvenaria estrutural) revela aplicação de conceitos corretos (ABNT, 2005a; ABNT 2005b). No Quadro 7 e no Quadro 8 são expressas as dimensões referenciais das famílias (dimensões de coordenação) por múltiplos do módulo M (10 cm); as dimensões de fabricação (dimensões nominais) têm o desconto correspondente ao ajuste de coordenação.

Quadro 7 - Dimensões normalizadas de blocos cerâmicos de vedação

Dimensões L x H x C Módulo Dimensional M = 10 cm	Dimensões de fabricação cm			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco principal	1/2 Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M		14	24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M			39	19
(3/2) M x (2) M x (2) M	14	19	19	9
(3/2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(2) M x (2) M x (3) M			29	14
(2) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19

NOTA Os blocos com largura de 6,5 cm e altura de 19 cm serão admitidos excepcionalmente, somente em funções secundárias (como em "shafts" ou pequenos enchimentos) e respaldados por projeto com identificação do responsável técnico

Fonte: NBR 15270-1:2005 – Componentes cerâmicos – parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos (ABNT, 2005a, p. 6-7).

Quadro 8 - Dimensões normalizadas de blocos cerâmicos estruturais

Dimensões L x H x C	Dimensões de fabricação cm					
Módulo dimensional M = 10 cm	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)			
			Bloco principal	½ Bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M			39	19	31,5	51,5
(3/2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
(2)M x (2)M x (3)M	19	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M			39	19	-	59
Bloco L – bloco para amarração em paredes em L.						
Bloco T – bloco para amarração em paredes em T.						

Fonte: NBR 15270-2:2005 – *Componentes cerâmicos – parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos* (ABNT, 2005b, p. 4).

Há 26 famílias de blocos cerâmicos normalizadas para alvenaria de vedação, sendo que oito delas também são possíveis em alvenaria estrutural. Entretanto, conforme indicou a pesquisa desenvolvida pela ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 27), entre as 26 famílias normalizadas, apenas oito são efetivamente praticadas pelo mercado (Quadro 9). Ou seja, nesse caso a demanda do mercado já agiu em favor da redução da variedade.

Quadro 9 - Blocos cerâmicos: linhas normalizadas e linhas praticadas

Altura de coordenação (cm)	25	20				15		12,5	10
Linhas normalizadas de blocos cerâmicos	25x40	20x40*	15x40*	12,5x40*	10x40*				
	25x30	20x30	15x30*	12,5x30	10x30		10x30		
	25x25	20x25	15x25	12,5x25*	10x25	12,5x25	10,25	12,5x25	10x25
		20x20	15x20	12,5x20	10x20		10x20		

Linhas destacadas em negrito são as praticadas pelo segmento de blocos cerâmicos

(*) Linhas praticadas também pelo segmento de blocos de concreto

Fonte: ABDI-FEC (2009, p. 28).

O Quadro 9 indica que as famílias praticadas em blocos cerâmicos são semelhantes, mas não idênticas, às famílias de blocos de concreto (identificadas por um asterisco). As famílias 20 x 30, 12,5 x 30 e 10 x 30 não são utilizadas para blocos de concreto⁴⁰. A família 12,5 x 25, existente para blocos de concreto, não está disponível para blocos cerâmicos.

O relatório da ABDI (ABDI-FEC, 2009) examinou os produtos de onze fabricantes de blocos cerâmicos. Os resultados obtidos estão resumidos no Quadro 10 e no Quadro 11. A partir deles, nota-se que a dispersão para blocos cerâmicos é maior se comparada aos blocos de concreto. Para os blocos estruturais, predomina a família 15 x 30 cm, mas para os blocos de vedação não há tendência clara. Ademais, a largura da coordenação octamétrica 12,5 cm tem presença significativa no segmento. Nesse caso, sua aplicação é mais problemática porque associa-se a comprimentos decimétricos (30 cm e 40 cm) e, uma vez que não são fornecidas peças de compensação para amarrações, há invariavelmente problemas de coordenação.

Quadro 10 - Blocos cerâmicos de vedação: componentes nos catálogos

Altura de coordenação de todas as famílias = 20cm

Fonte: elaboração própria.

Dados: ABDI-FEC (2009, p. 29).

⁴⁰ O bloco de concreto 10 x 30 cm é fabricado apenas como complemento da família 10 x 40 de concreto. Ou seja, não constitui família independente como acontece nos blocos cerâmicos.

Quadro 11 - Blocos cerâmicos estruturais: componentes nos catálogos

Fonte: elaboração própria.
 Dados: ABDI-FEC (2009, p. 29).

3.3.1.3 Drywall

A norma técnica que trata do dimensionamento das chapas de gesso para sistemas de vedação do tipo drywall é a NBR 14715: 2010-1 (ABNT, 2010a). Ela não faz prescrição de medidas, mas estabelece limites máximos para largura e comprimento das chapas, espessuras e tolerâncias dimensionais.

O seguimento das divisórias em chapa de gesso acartonado opera com grau de precisão acima da média da construção civil nacional. A indústria trabalha com ajuste de coordenação nulo, sendo as medidas nominais iguais às medidas de coordenação. Isso é possível porque as tolerâncias positivas são também nulas, sendo aceitas apenas tolerâncias negativas de até -4 mm e -5 mm, para largura e comprimento respectivamente (ABNT, 2010a, p. 4). Os encontros são solucionados com a justaposição simples das placas (que têm as bordas rebaixadas) e são cobertos com fita de papel microperfurado e massa. Nesse processo, eventuais vãos resultantes das tolerâncias negativas de dimensionamento podem ser completados com massa de preenchimento das juntas (AGÊNCIA BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL, 2006).

A NBR 14715: 2010-1 não estabelece padrões dimensionais de largura e altura para as chapas, apenas as dimensões máximas de 120 cm para a largura e 360 cm para altura (ABNT, 2010a). Todavia, conforme identificado pelo *Relatório de avaliação dos esforços para implantação da coordenação modular*, as medidas praticadas pelas indústrias do setor são coordenadas modularmente nos tamanhos apresentados no Quadro 12 e têm excelente índice de conformidade dimensional (ABDI-FEC, 2009, p. 31-32). Os espaçamentos de 40 cm e 60 cm entre montantes de fixação (distâncias axiais) também são compatíveis com a coordenação modular.

Quadro 12 - Chapas de gesso acartonado (*drywall*): medidas praticadas

	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>Nº de fornecedores disponíveis por tipo. 2 fornecedores pesquisados*.</div>														
Altura de coordenação (cm)	180	200	240	250	270	280	180	200	240	250	270	280	300	360	
Comprimento de coordenação (cm)	60						120								

*Fabricantes consultados (Knauf e Placo).

Fonte: elaboração própria.

Dados: ABDI-FEC (2009, p. 32).

As larguras nominais padronizadas para os perfis estruturais que compõem o sistema são 48 mm, 70 mm e 90 mm; as espessuras das chapas de gesso acartonado são 12,5 mm e 15 mm⁴¹ (AGÊNCIA BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL, 2006). As espessuras mínimas possíveis para as paredes divisórias executadas nesse sistema resultam do conjunto simples de perfis e uma única camada de chapa em cada face da parede (Figura 9). Nesse caso, o perfil de 70 mm é o que melhor atende aos requisitos da coordenação decimétrica, possibilitando espessuras totais de 95 mm e 100 mm dependendo da chapa usada (Quadro 13).

⁴¹ Para paredes divisórias, não se aplicam chapas de gesso acartonado com espessura de 9,5 mm.

Figura 9 - Largura do perfil e espessura da chapa de gesso acartonado na parede divisória de *drywall*

Fonte: elaboração própria.

Quadro 13 - Espessuras mínimas da parede conforme perfis e chapas adotados

		Larguras do perfis (mm)		
		48	70	90
Esp. chapas (mm)	12,5	73	95	115
	15	78	100	120

Fonte: elaboração própria.

No entanto, é usual a duplicação tanto dos perfis quanto das chapas para melhorar o desempenho da parede. Os perfis duplos podem também ser espaçados para proporcionar alinhamento de face com outros elementos do projeto, para criar soluções de isolamento acústico ou para passagem de instalações internas. Na verdade, conforme ilustrado da Figura 10, são tantas as combinações possíveis no sistema que as espessuras finais da parede são uma definição do projeto de arquitetura, não necessariamente uma determinação da indústria de componentes.

Figura 10 - Seções horizontais que exemplificam diferentes espessuras de paredes drywall compostas por placas de gesso acartonado e perfis de aço formados a frio

Fonte: Agência Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall (2006, p. 23-24).

3.3.2 Coberturas

Da inclinação característica das coberturas resulta que largura e comprimento de coordenação condicionam de forma diferente a aplicação da coordenação modular nesse sistema.

A possibilidade de variação do ângulo de inclinação faz com que, para um mesmo comprimento de telha, diferentes comprimentos em projeção horizontal sejam obtidos. Conforme o tipo da telha e da estrutura de suporte, a aplicação da coordenação às medidas longitudinais toma como referência o plano inclinado da

cobertura ou o plano de projeção horizontal. Com frequência, a coordenação modular se torna irrelevante para os comprimentos, até mesmo porque muitos modelos de telha permitem recobrimentos variáveis, facilitando o ajuste de dimensões.

No sentido da largura da cobertura (transversal ao caimento), a coordenação modular seria, na maioria dos casos, completamente aplicável. Esbarra, porém, na padronização dimensional das telhas, que na maioria não é adequada aos parâmetros da coordenação modular. Isso posto, para telhas onduladas e trapezoidais, também no sentido da largura é possível aumentar o recobrimento entre peças a fim de obter algum ajuste na largura de coordenação.

Não obstante, deve-se considerar que “o telhado constitui um sistema relativamente independente da edificação. Coordená-lo modularmente facilita a execução, mas não fazê-lo não compromete a coordenação de outras partes” (ABDI-FEC, 2009, p. 36). Isso acontece por um conjunto de fatores que podem ser entendidos por três pontos principais:

- a) o beiral, quando existente, desassocia o contorno da cobertura do contorno da edificação;
- b) o conjunto superior da cobertura (telhas, ripas, caibros) costuma ter um posicionamento relativamente flexível em relação a estrutura inferior de apoio (pilares, vigas, tesouras e terças), esta, sim, diretamente associada à organização da planta e à percepção visual do espaço;
- c) a cobertura, embora formada por vários componentes (telhas), tem características de um elemento contínuo, formal e funcionalmente. Isso significa que possui menos pontos de intersecção com os outros subsistemas da construção e que os pontos críticos de compatibilização dimensional com frequência são perimetrais.

3.3.2.1 Telhas cerâmicas

Conforme avaliação da ABDI, em relação à coordenação modular, o setor das telhas cerâmicas está menos estruturado do que, por exemplo, o setor de blocos cerâmicos (ABDI-FEC, 2009, p. 33). Em concordância, Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p.

22) afirmam que é o setor da construção que apresenta o maior desafio de adequação com a coordenação modular, porque os padrões de sua indústria ainda estão pouco desenvolvidos.

A norma brasileira que orienta o dimensionamento desses componentes é a NBR 15310:2009 (ABNT, 2009b). Ela define que a unidade para a comercialização de telhas é metro quadrado de telhado e que o fabricante deve informar o número de telhas necessárias para cobrir essa unidade de área, as medidas de fabricação das telhas (medidas nominais) e a galga média (distância entre ripas). Ademais, traz em seu Anexo F, que tem caráter apenas informativo, as características dimensionais para vários modelos de telha. Seu conteúdo não faz relação à norma, à terminologia nem aos conceitos da coordenação modular.

Segundo a ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 35), para que fossem modulares, as telhas cerâmicas deveriam ter galga média e largura útil com medidas decimétricas individualmente ou em um conjunto modular. A galga média, que pode ser entendida como média aritmética entre as situações de afastamento longitudinal mínimo e máximo na disposição das telhas, é uma referência importante que costuma ser fornecida pelos fabricantes. A partir dela, ainda que o recobrimento na colocação das telhas admita variações significativas, é possível inferir comprimentos de coordenação. Acerca da largura útil (largura de coordenação), tanto Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p. 23) quanto a ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 35) relatam que ela não costuma ser informada pelos fabricantes, devendo, portanto, ser inferida a partir da largura nominal e da distância ocupada pelo encaixe de acordo com o modelo da telha.

O Quadro 14, apresentado a seguir, extraído do relatório da ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 35) indica as medidas de coordenação para alguns modelos de telha em uma amostra de dez fabricantes.

Quadro 14 - Telhas cerâmicas: medidas de coordenação inferidas

	Modelos							
	Romana		Americana		Portuguesa		Plan	
Medidas de coordenação (mm)	Compr.	Larg.	Compr.	Larg.	Compr.	Larg.	Compr.	Larg. 2 peças
MS (MT)	336	190	368	220	344	185		
Barrobelo (SP)	335	187	365	210	330	178		
Maristela (SP)	325	192	358	213	325	189		
Maracá (MG)	334	193	370	220	333	180		
Inca (MG)			376	222			400	172
Miranda Corrêa (AM)	330	189	370	225	330	183	390	184
Kappa	345	193	370	225			390	198
União (MG)			350	238	290	215		
Cincera (PB)	340	196			325	181	400	178
Inajá (PR)	329	191			336	178		
Variação	325 345	187 196	350 376	210 238	200 344	178 215	390 400	172 198
Diferença (mm)	20	9	26	28	54	37	10	26

Fonte: ABDI-FEC (2009, p. 35).

Pode-se verificar que não há observância à coordenação modular decimétrica e que há diferenças significativas de dimensionamento para produtos de mesmo modelo.

Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p. 23-29) examinaram modelos diferentes de telhas dos analisados pela ABDI (telhas-francesa e capa/canal paulista), porém observaram a mesma variedade dimensional. Diante disso, desenvolveram uma proposta para a criação de novos padrões adequados à coordenação modular. Para as telhas-francesas, aconselharam largura de coordenação de 2M e comprimento de coordenação de 4M em projeção horizontal (Figura 11). Para as telhas capa/canal paulista recomendaram a formação de um conjunto modular com quatro telhas justapostas, resultando em largura de coordenação de 5M e comprimento de coordenação de 4M em projeção horizontal (Figura 12).

Figura 11 - Dimensões sugeridas para telhas-francesas

Sem escala.

Fonte: Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p. 24).

Figura 12 - Dimensões sugeridas para telhas capa/canal paulista

Sem escala.

Fonte: Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p. 27).

3.3.2.2 Telhas de fibrocimento

As normas técnicas que tratam do dimensionamento de telhas de fibrocimento, apesar de recentes, não fazem referência à NBR 15873:2010 nem a seus princípios e sua terminologia. Entre os aspectos problemáticos dessa normalização, observa-

se que a NBR 7581-3:2012 (ABNT, 2012) e a NBR 15210-1:2014 (ABNT, 2014b) definem comprimentos originados do sistema pé-polegada (122 cm, 153 cm, 183 cm, 213 cm e 244 cm) e larguras de coordenação não decimétricas (45 cm, 87 cm e 105 cm). Acerca da terminologia, a normalização aplica corretamente o termo “largura nominal”, mas utiliza a expressão “largura útil” em vez de “largura de coordenação” (ABNT, 2012; ABNT, 2014b). Na verdade, o termo “largura útil”, conforme aplicado por todos os segmentos da indústria de telha, tem relação com a mínima sobreposição lateral necessária para evitar entrada de água da chuva, sendo que um recobrimento maior resulta em desperdício de material. Portanto, neste caso, a terminologia resulta de um raciocínio focado na funcionalidade, não na coordenação dimensional.

Conforme as pesquisas de Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p. 18-19) e da ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 39-40), as características dimensionais das telhas de fibrocimento disponíveis no mercado diferem de acordo com três tipologias principais – pequenas ondas, ondulada e canal – e também entre fabricantes. As telhas do tipo pequenas ondas têm altura de onda inferior a 39 mm, enquanto aquelas com altura superior a esse valor são do tipo onduladas. Já as telhas tipo canal se caracterizam por perfis de apenas um canal e duas cristas.

O relatório da ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 39-40) avaliou as medidas de catálogo de oito empresas. Os dados obtidos encontram-se resumidos no Quadro 15.

Quadro 15 - Telhas de fibrocimento: dimensionamento conforme catálogo

		7		7				
			3		2	2	1	2
								1
		Nº de fornecedores disponíveis por tipo. 8 fornecedores pesquisados.						
Largura de coordenação (cm)	45	87	105	50	102	44	49	90,8
Largura nominal (cm)	50,6	92	110	60,5	106,4	47,2	52,1	100,8
Comprimentos nominais* (cm)						200	200	
						250	250	
	61	91	91			300	300	300
	91	122	122	185		360	360	370
	122	153	153	230	300	400	400	460
	153	183	183	320	330	450	450	600
	183	213	213	370	370	500	500	670
	213	244	244	410	410	550	550	740
	244	305	305	460	460	600	600	820
		366	366			650	650	920
					720	720		
Recobrimento longitudinal recomendado (cm)	14	14	14	20	20			
	Peq. ondas	Ondulada		Canal				
Tipo de telha								

Notas: As duas larguras úteis destacadas em vermelho são conformes à coordenação modular (50cm) ou passíveis de formar conjunto modular (45cm).

*Nem todas as empresas fornecem todos os comprimentos listados.

Fonte: elaboração própria.

Dados: ABDI-FEC (2009, p. 39-40).

Verifica-se que, para as telhas onduladas e de pequenas ondas, as dimensões praticadas estão de acordo com as normas técnicas pertinentes (NBR 7581-3:2012 e NBR 15210-1:2014), mas, devido à inadequação das próprias normas, não estão em conformidade com a coordenação modular.

O único modelo adequado à coordenação modular é a telha tipo canal com largura de coordenação de 50 cm e comprimentos múltiplos decimais (Figura 13). Atualmente não há normalização em vigor que determine o dimensionamento das telhas tipo canal; no entanto, deve-se mencionar que a telha com 50 cm de largura útil era padronizada pela NBR 12825:1993, que se encontra cancelada (ABNT, 1993).

Figura 13 - Telha de fibrocimento tipo canal 50

Fonte: elaboração própria.

Dados: NBR 12825 – *Telha de fibrocimento, tipo canal* (ABNT, 1993).

Entre os tipos padronizados de telhas onduladas, é possível utilizar o modelo com largura de coordenação 45 cm (Figura 14) para compor conjuntos modulares. Conforme Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p. 20), duas unidades de largura útil 45 cm compõem um conjunto modular de 90 cm. Ainda segundo eles, seria possível compor um conjunto modular de 80 cm aumentando o recobrimento lateral entre telhas. No entanto, isso não está correto, porque o acréscimo de uma onda no recobrimento (7,5 cm) resultaria em largura útil de 82,5 cm. Por sua vez, um conjunto de três telhas com recobrimento lateral duplo nos dois encontros resulta em largura de coordenação de 120 cm (Figura 15). Neste caso, deve-se avaliar se os ganhos obtidos pela maior sobreposição justificam a perda em área útil do material.

Figura 14 - Telha de fibrocimento de pequenas ondas conforme catálogo

Sem escala.

Fonte: Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p. 19).

Figura 15 - Conjuntos modulares 90 cm e 120 cm e conjunto não modular 82,5 cm

Fonte: elaboração própria.

3.3.2.3 Telhas metálicas

As normas nacionais que tratam do dimensionamento das telhas de aço são a NBR 14513:2008 (ABNT, 2008a) para seção ondulada e a NBR 14514:2008 (ABNT, 2008b) para seção trapezoidal. A norma que trata das telhas de alumínio, onduladas e trapezoidais, é a NBR 14331:2009 (ABNT, 2009a). As três normas são anteriores a 2010 e, portanto, não fazem referência à NBR 15873:2010. Em todas são utilizados os conceitos de dimensão nominal e tolerância. Todavia, conforme exemplificado na Figura 16, aplica-se o termo “largura total” em vez de “largura nominal” e, assim como acontece com as telhas de fibrocimento, “largura útil” em vez de “largura de coordenação”.

Figura 16 - Telhas de aço: indicação das dimensões

Sem escala.

Fonte: ABNT (2008b, p. 3).

A NBR 14513:2008 indica a largura útil de 985 mm para telhas onduladas. Já a NBR 14514:2008 estabelece para a telha trapezoidal 40 a largura útil de 980 mm, mas não faz determinações para os demais modelos trapezoidais. A NBR 14331:2009 não indica padrões de largura para as telhas de alumínio. Nenhuma das normas padroniza comprimentos.

O relatório da ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 39-40) avaliou, em 2009, as medidas de catálogos de dezesseis empresas produtoras de telhas de aço. O resultado está sintetizado no Quadro 16.

Quadro 16 - Telhas de aço: dimensionamento conforme catálogo

Notas: Os catálogos apresentam pequenas variações na indicação de medidas de um mesmo modelo. As três larguras úteis destacadas em vermelho são as únicas em conformidade com a coordenação modular. Não foram incluídas na pesquisa telhas curvas, calandradas e multidobras.

Fonte: elaboração própria.

Dados: ABDI-FEC (2009, p. 42-43).

Complementando os dados fornecidos pela ABDI sobre as telhas de aço, nesta dissertação pesquisou-se (também por meio da consulta em catálogos on-line) o dimensionamento praticado no subsetor de alumínio. As telhas de alumínio têm aplicação menos difundida do que as telhas de aço, e há menor variedade de fornecedores atuando do mercado. Seis fabricantes foram verificados, os resultados encontram-se no Quadro 17, a seguir.

Quadro 17 - Telhas de alumínio: dimensionamento conforme catálogo

		<div><div>5</div><div>2</div><div>2</div><div>2</div><div>4</div></div> <p>Nº de fornecedores disponíveis por tipo. 6 fornecedores pesquisados.</p>				
Largura de coordenação (mm)	Recobrimento simples	990	1025	1207	1292	988
	Recobrimento duplo*	825	820	1035	1216	912
Largura nominal (mm)		1056	1080	1265	1345	1072
Altura (mm)		38	38	38	17	18
		Trapezoidal			Ondulada	
Tipo de telha						

Nota: Foram consultados os catálogos online de seis fabricantes: Alcoa-Alcoflon, Belmetal, CBA-Votoral (SP), Incometal (SP), Shockmetais (SP) e Altec (SP).

*Conforme a NBR 14331:2009 (ABNT, 2009), para as telhas onduladas de alumínio é obrigatório o recobrimento mínimo de duas ondas. Por essa razão, a tabela apresenta duas larguras de coordenação possíveis, uma resultando do recobrimento simples e outra do recobrimento duplo.

Fonte: elaboração própria.

Verifica-se que as larguras úteis praticadas não são adequadas à coordenação modular na maioria dos casos para telhas de aço, e na totalidade deles para telhas de alumínio. A pesquisa não considerou as medidas de comprimento, porque em geral elas são limitadas apenas pelas condições de transporte e logística, podendo ser facilmente adequadas à coordenação modular (ABDI-FEC, 2009, p. 42).

Para as telhas de aço, são mais recorrentes o tipo trapezoidal 40 com largura de coordenação de 980 mm, e ondulado 17 com largura de coordenação de 985 mm, sendo esses os modelos padronizados pela ABNT. Para as telhas de alumínio, ainda que não haja normalização técnica do dimensionamento, identifica-se a predominância das larguras de coordenação de 990 mm para telhas trapezoidais e 988 mm para onduladas. Acerca disso, é interessante mencionar que essas e outras larguras com valores próximos a 1.000 mm decorrem da dobra de bobinas metálicas com 1.200 mm de largura. Entende-se, portanto, que a largura de coordenação neste caso não é uma dimensão previamente definida, mas, sim, resultante da combinação da largura da matéria-prima com a seção adequada para garantir as características geométricas, físicas e de resistência desejadas. As pequenas variações dimensionais identificadas associam-se principalmente a diferenças geométricas na composição da seção.

Dos modelos de telha de aço identificados pela ABDI, apenas três têm largura compatível à coordenação modular: as telhas trapezoidais 25 e 120, com largura de coordenação de 1.000 mm e 900 mm, respectivamente, e a telha ondulada 17 com largura de coordenação de 1.000 mm. Para cada um desses modelos, há apenas duas opções de fabricante. Ainda assim, os modelos trapezoidal 25 e ondulada 17 com largura de coordenação de 1.000 mm são os recomendados por Amorim, Kapp e Ecksterman (2010d, p. 30) para aplicação em projetos coordenados modularmente.

Tratando dos demais modelos que não são adequados à coordenação modular, Amorim, Kapp e Ecksterman (2010d, p. 31) aconselham que os fabricantes procedam com ajustes alterando dobras e ondulações para que tenham larguras de coordenação decimétricas. A ABDI, no entanto, faz uma avaliação diferente. A agência considera que essas dimensões são condicionadas pelo desenho dos perfis e pela largura das bobinas e que a adequação teria implicações amplas e de custo elevado. Para a entidade, dado que a coordenação decimétrica da largura das telhas não tem impacto significativo nos demais sistemas da edificação, a revisão dos processos de fabricação não é uma recomendação prioritária (ABDI-FEC, 2009, p. 42).

3.3.3 Esquadrias

A normalização vigente para esquadrias externas, ABNT 10821:2011 – *Esquadrias externas para edificação*, não estabelece padrões dimensionais para esquadrias e também não inclui determinações relevantes para a coordenação modular. A norma apenas orienta que, “no caso de edificações que obedeçam à coordenação modular, conforme ABNT NBR 15873, as dimensões das esquadrias devem estar compatíveis” (ABNT, 2011a, p. 1).

Do conjunto de normas de coordenação modular cancelado em 2010, as NBRs 5708, 5722 e 5728 tratavam especificamente de esquadrias. Dessas, a mais completa era a NBR 5708:1982 – *Vão modulares e seus fechamentos*. Seu conteúdo determinava que as medidas modulares do vão e do fechamento deveriam ser equivalentes e que, em ambos os casos, a diferença entre a medida modular e

sua respectiva medida de projeto (medida nominal) correspondia ao ajuste modular (ABNT, 1982b). Essa relação está expressa na Figura 17.

Figura 17 - Vão e fechamento modulares conforme NBR 5708:1982

Fonte: adaptado de ABNT (1982b, p. 1).

Comparando-se a NBR 5708:1982 à NBR 15873:2010, não houve alteração significativa do conteúdo referente às esquadrias, exceto pela determinação mais clara na NBR 15873:2010 de que a medida modular corresponde a um múltiplo do módulo básico de 10 cm. Permanece a lacuna no segmento quanto ao estabelecimento de dimensões preferidas, já que elas não são definidas pela NBR 10821:2011.

Assim como no caso das coberturas, o segmento divide-se fortemente de acordo com os materiais e as técnicas de fabricação empregados. Os subsegmentos operam com nível tecnológico e também com padrões dimensionais distintos. Em cada caso, encontram-se problemas específicos. Alguns, como a indústria de alumínio, são mais estruturados, mas ainda adotam práticas inadequadas, como o uso de medidas nominais decimétricas em vez de medidas de coordenação decimétricas. Já as indústrias de madeira e PVC atuam principalmente sob encomenda, com medição e fabricação caso a caso (ABDI-FEC, 2009, p. 57). Os subsegmentos operam de forma completamente independente, sendo que os setores de aço, alumínio e PVC têm Programas Setoriais de Qualidade próprios no PBQP-H. No entanto, diferentemente do que acontece com as coberturas, para as esquadrias as características geométricas do contorno do componente (qualquer que seja seu material de fabricação) são essenciais em sua integração com o restante da edificação. Esse aspecto torna a padronização dimensional do

componente determinante não apenas no âmbito de um subsegmento (aço, alumínio, PVC ou madeira), mas entre eles.

3.3.3.1 Esquadrias de alumínio

A análise apresentada no *Relatório de avaliação dos esforços para implantação da coordenação modular no Brasil* (ABDI-FEC, 2009) verificou a não observância da coordenação modular e uma enorme variedade no dimensionamento de esquadrias praticado pelo segmento. Foram pesquisados catálogos de onze fabricantes, e em nenhum deles havia diferenciação entre medidas nominais e medidas de coordenação. Por meio da medição de produtos, assim como da análise dos manuais de instalação, a pesquisa da ABDI concluiu que as medidas apresentadas nos catálogos referiam-se às medidas nominais, ainda que houvesse variação significativa (para mais e para menos) em relação às medidas reais verificadas. Conforme apresentado no Quadro 18, a seguir, as medidas nominais identificadas revelaram mais de cinquenta tamanhos diferentes de janelas e trinta de portas (ABDI-FEC, 2009, p. 48-51). Verificou-se também a adoção de medidas nominais decimétricas que, quando acrescidas das tolerâncias de fabricação e instalação necessárias, resultam em medidas de coordenação não decimétricas.

Quadro 18 - Esquadrias de alumínio: medidas praticadas

	Tipos de esquadrias															
	Janelas											Portas				
Altura nominal (cm)	40	50	60	70	75	80	100	120	135	140	160	210	215	217	218	230
Larguras nominais (cm)	40	10	40	140	150	40	40	60	35	120	80	60	88	68	160	120
	60	0	60			60	50	100		140	120	70		78	200	140
	80	15	80			80	60	120			160	75		88	250	150
	100	0	100			100	60	140				80		98		160
	120		120			120	100	150				85				200
	160		150			150	120	160				88				220
	200		200			160	140	180				90				240
						220	150	200				100				
							160	220				120				
							180	240				140				
							200					150				
							220					160				
												200				
												220				
												240				

Fonte: ABDI-FEC (2009, p. 50).

Além disso, deve ser observado o predomínio de tamanhos reduzidos, inadequados para a ventilação, a iluminação e a visibilidade nas aberturas. O relatório da ABDI destaca a predominância da altura de 100 cm para as janelas, o que costuma resultar em peitoris ou vergas muito altos, que prejudicam, respectivamente, a visibilidade ou a ventilação dos espaços (Figura 18) (ABDI-FEC, 2009, p. 51).

Figura 18 - A altura de 100 cm para esquadrias prejudica a ventilação ou a visibilidade

Fonte: ABDI-FEC (2009, p. 51).

Diante do atraso do setor em relação à coordenação modular, já havia sido publicado em 2001 o *Manual técnico de modulação de vão de esquadrias*, uma iniciativa da Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de alumínio (Afeal), por meio do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SindusCon-SP) e da Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA) (LUCINI, 2001, p. 17).

O manual atua sobre a deficiência na normalização nacional para coordenação modular que não especifica medidas preferidas ou preferíveis para esquadrias (BALDAUF; GREVEN, 2007, p. 60-63). Seu catálogo de vãos modulares e dimensões preferidas de esquadrias reúne o conjunto de vãos e esquadrias selecionados pelo Comitê de Tecnologia e Qualidade do SindusCon-SP. Nele, são definidos doze vãos

modulares preferidos, quinze tipologias de esquadrias e 27 dimensões preferidas de esquadrias (LUCINI, 2001, p. 83).⁴² Os doze vão modulares preferidos, sendo cinco tamanhos de janelas e sete de portas, estão resumidos no Quadro 19.

Quadro 19 – Vão modulares preferidos para portas e janelas

	Janelas					Portas						
Altura do vão modular (cm)	60			120		220					230	
Largura do vão modular (cm)	60	80	100	120	150	90	150	200	240	300	120	150

Fonte: Lucini (2001, p. 83-84) e ABDI-FEC (2009, p. 48).

Acerca desse dimensionamento, é relevante apontar que a pesquisa de Lucini (2001, p. 83) identifica, para cada grupo tipológico e vão modular, seu respectivo vão iluminação-ventilação, verificando também a área máxima do ambiente que poderá ser atendido por cada modelo conforme os percentuais de insolação e aeração mínimos exigidos pelo Código de Obras do município de São Paulo⁴³ (SÃO PAULO, 1992, p. 52). Das tipologias apresentadas, vale observar que a de uso mais frequente em dormitórios é a janela de correr com três folhas e veneziana. Considerando que essa tipologia oferece apenas 50% de insolação em relação à área total da esquadria, suas dimensões sugeridas 120 x 120 cm e 120 x 150 cm atendem às áreas máximas de 4 m² e 5,1 m², respectivamente. A sessão 4.3.1 desta dissertação, “Dimensionamento dos componentes”, que inclui uma representação da janela de correr de três folhas, se aprofunda na avaliação do dimensionamento em relação às necessidades do usuário. Por ora, é suficiente evidenciar o desajuste entre o dimensionamento praticado pelo segmento e as exigências dos ambientes, principalmente quanto à iluminação natural.

3.3.3.2 Esquadrias de aço

Não existe normalização específica para o dimensionamento das esquadrias de aço. A normalização aplicável é a NBR 10821:2011, válida para todas esquadrias

⁴² O relatório da ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 48) também trata dos vãos modulares preferidos fazendo referência, além de a Lucini (2001), ao *Manual de portas e janelas de alumínio* publicado pela Associação Brasileira do Alumínio (Abal). Segundo a ABDI, o manual da Abal apresentava as mesmas dimensões constantes no manual de Lucini. No entanto, essa informação não pôde ser verificada, porque a publicação on-line da Abal não se encontra mais disponível.

⁴³ Exigência de 15% de insolação e 7,5% de aeração em relação à área de ambiente de permanência prolongada (grupos A e B).

externas. No entanto, de acordo com análise feita pela ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 52), o caso das esquadrias de aço é mais problemático, porque, além de não haver iniciativa do setor para difusão da coordenação modular, há uma determinação para o uso de medidas nominais segundo a Matriz da Qualidade do Programa Setorial de Qualidade (PSQ) do segmento.

Assim como aconteceu com as esquadrias de alumínio, o relatório da ABDI pesquisou dez catálogos de fabricantes e observou que em nenhum havia referência à diferença entre medidas nominais e medidas de coordenação. Por meio de medições e consulta às instruções de montagem, verificou-se que as dimensões apresentadas em catálogo são nominais. As medidas obtidas estão apresentadas no Quadro 20 e no Quadro 21 reproduzidos a seguir, sendo 49 diferentes tamanhos de janela e 72 de portas (ABDI-FEC, 2009, p. 53-54).

Quadro 20 - Janelas de aço: medidas praticadas

	Janelas									
Altura nominal (cm)	30	40	50	60	80	100	120	140	150	200
Larguras nominais (cm)	30	40	50	40	60	50	50	50	50	60
		50	100	60	80	60	60	60	60	100
		60	120	70	100	80	80	80	80	120
		80	146	80	120	100	100		100	
		100	150	100		120	120		120	
				120		150	140			
				150		200	150			
				200			160			
							200			

Fonte: ABDI-FEC (2009, p. 54-55).

Quadro 21 - Portas de aço: medidas praticadas

	Portas									
Alturas nominal (cm)	180	200	210	212	214	215	216	217	220	238
Larguras nominais (cm)	240	85	60	65	150	61	75	65	75	250
		240	70	75	160	65	85	67	80	
		250	80	78	200	68	88	75	85	
		260	120	85		71	150	77		
		300	140	88		75		80		
			150	120		77		83		
			200	150		78		84		
				163		81		85		
				200		83		87		
						85		88		
						87		100		
						88		118		
						99		119		
						120		120		
						140		140		
						150		145		
						160		150		
						200		151		
								160		
								180		
								200		

Fonte: ABDI-FEC (2009, p. 54-55).

Assim como identificado nas esquadrias de alumínio, os fabricantes de janelas de aço adotam medidas nominais decimétricas, o que, como já destacado, é inadequado para a coordenação modular. Já o dimensionamento das portas não segue a mesma lógica e apresenta uma grande variedade de medidas, sendo algumas delas passíveis de adequação à coordenação modular dependendo do ajuste de coordenação adotado. Conforme explica a avalia a ABDI (ABDI-FEC, 2009, p. 54),

Se considerarmos, por exemplo, um ajuste modular de 5 cm para esse tipo de esquadria, a altura de 215 cm seria adequada, bem como as larguras 65 cm, 75 cm e 85 cm. No entanto, como os fabricantes desses produtos não esclarecem a folga perimetral exigida, não é possível afirmar que o produto seja de fato modular.

3.3.3.3 Esquadrias de madeira

Não há norma técnica específica para janelas de madeira, sendo válida, portanto, a NBR 10821-2:2011 (ABNT, 2011a) referente a esquadrias externas, que não apresenta determinações relevantes para a coordenação modular.

No entanto, para o dimensionamento de portas de madeira, aplica-se a norma técnica NBR 15930-2:2011 – *Portas de madeira para edificações – parte 2: Requisitos* (ABNT, 2011b). Em sua subseção “3.1 Dimensionamento e tolerâncias”, a norma estabelece padrões dimensionais para conjuntos de porta compostos de folha, marco ou batente, guarnição e ferragens.

Acerca dela, primeiro observa-se que não utiliza os termos recomendados pela NBR 15873:2010 referentes às medidas nominais, de coordenação e ao ajuste de coordenação. As dimensões relevantes para a coordenação modular determinadas pela norma são “largura do kit (Lk)” e “altura do kit (Hk)”, que correspondem às dimensões nominais do conjunto da porta, e “largura do vão (Lv)” e “altura do vão (Hv)”, que podem ser consideradas equivalentes às dimensões de coordenação do conjunto porque acrescem à largura nominal o espaço necessário para a instalação.

Para o dimensionamento de cada um dos elementos do conjunto, a NBR 15930-2:2011 parte de definição de padrões dimensionais decimétricos para as folhas das portas (L x H). A partir dessas dimensões (L x H), são acrescentadas as espessuras referentes aos batentes da porta, o que resulta nas medidas nominais do conjunto (Lk x Hk). Sobre isso, somando os espaços necessários para instalação e tolerâncias, obtêm-se as dimensões de coordenação do conjunto (Lv x Hv) (Figura 19).

Figura 19 - Referências dimensionais conforme a NBR 15930-2

Fonte: elaboração própria.

Dados: NBR 15930-2:2011 (ABNT, 2011b).

Por razões técnicas, as espessuras do batente da porta variam adequando-se à massa (kg/m^2) da folha em quatro categorias – leve, médio, pesado e superpesado. Já os espaços necessários para instalação diferem conforme o método de fixação, com espuma expansiva de poliuretano (espuma PU) ou com parafusos ou grapas. Consequentemente, para cada dimensão de folha de porta ($L \times H$), resultam oito possíveis dimensões de coordenação para o conjunto ($L_v \times H_v$) (Quadro 22).

Quadro 22 - Dimensionamento para o conjunto porta (em milímetros)

	LEVE De 6 a 10kg/m ²	MÉDIO De 10 a 20kg/m ²	PESADO De 20 a 30kg/m ²	SUPERPESADO Acima de 30kg/m ²
Dimensões nominais da folha (L x H)	L x H	L x H	L x H	L x H
Dimensões nominais do conjunto (Lk x Hk)	L + 45 x H + 28	L + 55 x H + 33	L + 66 x H + 38	L + 76 x H + 43
Dim. de coordenação p/ parafusos ou grapas (Lv x Hv)	L + 55 x H + 35	L + 65 x H + 40	L + 75 x H + 45	L + 85 x H + 50
Dim. de coordenação p/ espuma PU (Lv x Hv)	L + 70 x H + 40	L + 80 x H + 45	L + 90 x H + 50	L + 100 x H + 55

Fonte: elaboração própria.

Dados: ABNT (2011b, p. 2-4).

O Quadro 23 a seguir mostra os padrões dimensionais para as folhas das portas estabelecidos pela NBR 15930-2:2011. Ao lado, estão indicadas as dimensões de coordenação (Lv e Hv) obtidas acrescentando-se as espessuras de batente e de espaço para instalação (ajuste de coordenação). A fim de simplificar os dados, para o espaço de instalação considerou-se apenas a opção de fixação com espuma PU, porque é a opção crítica que requer maior dimensão. No caso de fixação por grapa ou parafusos, as dimensões de coordenação serão sempre 5 mm menores.

Quadro 23 - Medidas padronizadas para as folhas das portas (segundo sua massa)

Dimensões das portas internas para os padrões (mm)								
	LEVE De 6 a 10kg/m ²		MÉDIO De 10 a 20kg/m ²		PESADO De 20 a 30kg/m ²		SUPERPESADO Acima de 30kg/m ²	
	Dim. Folha	Dim. Coordenação	Dim. Folha	Dim. Coordenação	Dim. Folha	Dim. Coordenação	Dim. Folha	Dim. Coordenação
Alturas	2100	2140	2100	2145	2100 2400	2150 2450		
Larguras	600 700 800 900	670 770 870 970	600 700 800 900	680 780 880 980	600 700 800 900	690 790 890 990		

Dimensões das portas de entrada e externa para os padrões (mm)								
	LEVE De 6 a 10kg/m ²		MÉDIO De 10 a 20kg/m ²		PESADO De 20 a 30kg/m ²		SUPERPESADO Acima de 30kg/m ²	
	Dim. Folha	Dim. Coordenação	Dim. Folha	Dim. Coordenação	Dim. Folha	Dim. Coordenação	Dim. Folha	Dim. Coordenação
Altura	2100	2140	2100	2145	2100 2400	2150 2450	2100 2400	2155 2455
Larguras	800 900	870 970	800 900 1000 1100	880 980 1080 1180	800 900 1000 1100	890 990 1090 1190	800 900 1000 1100	900 1000 1100 1200

Fonte: adaptado de ABNT (2011b, p. 5).

Verifica-se uma variedade dimensional excessiva, com incrementos de 1 cm na largura e 0,5 cm na altura entre modelos. Isso acontece porque a lógica aplicada pela NBR 15930-2:2011 é fundamentalmente oposta à NBR 15873:2010. De acordo com os preceitos da coordenação modular (NBR 15873:2010), deveriam ser fixas as dimensões de coordenação externas do conjunto (no caso, o kit porta), sendo que as dimensões nominais e as dimensões internas (como a folha da porta) seriam de livre determinação por parte de cada fabricante. O problema se agrava porque a NBR 15930-2:2011 padroniza dimensões decimétricas para as folhas das portas (L x H), o que resulta, na maioria dos casos, em dimensões de coordenação não múltiplas do módulo básico (10 cm) nem do incremento submodular M/2 (5 cm).

O controle da variação dimensional poderia ser obtido com a padronização decimétrica das medidas de coordenação do conjunto porta (Lv x Hv). Dado que as folhas de diferentes categorias de peso já são produtos diferentes (porque têm diferentes espessuras e/ou constituição) e também já requerem diferentes modelos de batente, é possível entender que seriam aceitáveis pequenas variações em largura e altura, de forma a manter constantes as dimensões externas do conjunto. Para a determinação das dimensões nominais, também seria possível padronizar o ajuste de coordenação pelo caso mais crítico de fixação em espuma PU, sabendo que, no caso da fixação por grapas ou parafusos, é possível recorrer a 5 mm de preenchimento.

É relevante observar que consta na subseção “3.1 Dimensionamento e tolerâncias” da norma NBR 15930-2:2011 a recomendação de que, “No caso de edificações que obedeçam à coordenação modular, [devem-se] compatibilizar as dimensões das portas conforme a ABNT NBR 15873” (ABNT, 2011b, p. 2). Essa nota parece transferir ao projeto do edifício a responsabilidade de compatibilização do componente industrial à coordenação modular. Entende-se, a partir disso, que a adaptação necessária deve ser resolvida caso a caso, o que é uma lógica contrária aos objetivos de permutabilidade e integração da coordenação modular e da industrialização da construção. Percebe-se, portanto, que neste caso a referência feita à NBR 15873:2010 é inócua.

Além disso, a NBR 15930-2:2011 determina que as “dimensões que não se enquadram em 3.1.3.1 [apresentados no Quadro 23], incluindo as larguras

modulares de folhas de 620 mm, 720 mm, 820 mm e 920 mm, são consideradas portas com dimensões especiais” (ABNT, 2011b, p. 5). Isso significa que as folhas com largura $nM + 2$ cm, bastante usuais no mercado, não são consideradas padronizadas. Não obstante, convém mencionar que essas larguras de folha nas categorias de massa médio e leve e com fixação por espuma PU, resultam respectivamente em larguras de coordenação de $nM + 10$ cm e $nM + 9$ cm adequadas à coordenação modular. Segundo os dados do Anexo I da mesma norma, sabe-se que os padrões leve e médio atendem às necessidades de uso de portas internas e de entrada residenciais (ABNT, 2011b, p. 81). Entende-se, por conseguinte, que a norma NBR 15930-2:2011 classifica como especiais (ou seja, fora de padrão) componentes já usuais e adequados à coordenação modular de edifícios residenciais.

3.3.4 Revestimentos

3.3.4.1 Revestimentos cerâmicos

O segmento de revestimentos cerâmicos pratica uma enorme variedade de tamanhos e formatos para seus componentes e parece não considerar os princípios da coordenação modular em sua produção.

O Quadro 24 reproduzido a seguir apresenta as medidas extraídas dos catálogos de doze empresas consultadas pelo *Relatório de avaliação dos esforços para implantação da coordenação modular no Brasil* (ABDI-FEC, 2009, p. 66).

Quadro 24 - Dimensões de catálogo para componentes cerâmicos

	Componentes					
Menor dimensão	<10cm	<20cm	< 30cm	< 40cm	< 50cm	< 60cm
Medidas de catálogo (cm)	7 x 7	10 x 10	20 x 20	30 x 30	40 x 40	50 x 50
		10 x 20	20 x 30	30 x 45	41 x 41	56 x 56
		10 x 50	23,5 x 35,5	30 x 50	42 x 42	57 x 57
		13 x 13	25 x 25	31 x 31	43 x 43	
		15 x 15	25 x 35	31 x 41	44 x 44	
			27 x 37	31 x 42	45 x 45	
			28,5 x 50,0	31 x 60	47 x 47	
			29 x 49	32 x 44	49 x 49	
			29,5 x 50	33 x 33		
			29,8 x 50,5	33 x 45		
				35,5 x 35,5		
				37 x 37		
				38 x 38		

Fonte

: ABDI-FEC (2009, p. 66).

O problema da variedade dimensional se agrava porque não há padronização da terminologia adotada nos catálogos. Fica impossível diferenciar medidas nominais de medidas de coordenação. Conforme relata a ABDI, a medição direta dos produtos revela que “Parece que o segmento compreende a expressão ‘medida nominal’ ou ‘dimensão nominal’, literalmente, como a medida que dá um nome (fantasia) ao produto e não como medida nominal de fabricação” (ABDI-FEC, 2009, p. 64).

De acordo com o relatório da ABDI, somente quatro das doze indústrias pesquisadas mostravam em seus catálogos a diferença entre a medida indicada no nome do produto e sua medida de fabricação (medida nominal). Os dados acerca dos produtos dessas quatro empresas foram sistematizados no Quadro 25 a seguir.

Quadro 25 – Práticas dimensionais e informacionais de quatro empresas pesquisadas

Empresas	Medidas de catálogo (cm)	Medidas nominais (cm)	Tolerância de fabricação (%)	Medidas de modulares
Kera	31 x 31 31 x 41 37 x 37 44 x 44	30,6 x 30,6 30,6 x 40,61 37,05 x 37,05 43,62 x 43,62	Não indicada	Não há
Acro	30 x 40 32 x 45 35 x 35 40 x 40 45 x 45	30,7 x 41,1 32 x 45,2 35,7 x 35,7 41,1 x 41,1 45,3 x 45,3	Não indicada	Não há
Cecrisa	20 x 20 20 x 30 30 x 30 40 x 40	19,5 x 19,5 19,5 x 29,5 29,5 x 29,5 39,5 x 39,5	± 0,6%	2M x 2M 2M x 3M 3M x 3M 4M x 4M
Savane	38 x 38 40 x 40	38,3 x 38,3 39,3 x 39,3	Não indicada	Não há para 38 x 38 4M x 4M

Nota: foram indicadas em vermelho as medidas nominais que são iguais ou maiores do que as medidas indicadas em catálogo. Por princípio, elas deveriam ser inferiores às medidas de catálogo (medidas de coordenação).

Fonte: adaptado de ABDI-FEC (2009, p. 65).

Observa-se que, das quatro empresas, apenas uma delas (Cecrisa) está em conformidade com os padrões da coordenação modular. Nos demais casos, além de não serem predominantes medidas decimétricas, as medidas nominais não têm relação lógica com as medidas indicadas no catálogo dos produtos.

A inadequação do segmento aos padrões da coordenação modular pode ser associada à prática já estabelecida de corte de peças (de pequenas dimensões e elevada relação perímetro de juntas/área revestida). Além disso, o bom resultado da coordenação modular do revestimento cerâmico em obra depende do rigor dimensional com que as paredes e os revestimentos são executados. Ou seja, o correto dimensionamento dos componentes de revestimento não evita cortes se os desvios da construção forem maiores do que o ajuste de coordenação entre peças pode acomodar. É possível, no entanto, que a evolução dos níveis de controle dimensional em obra, por um lado, e a crescente aplicação de peças de maiores dimensões, por outro, tornem mais evidentes para o setor a conveniência da coordenação modular.

Além disso, a inadequação do segmento pode ser relacionada à falha da normalização técnica anterior à NBR 15873:2010. Especialmente, associa-se à NBR 5719:1982 – *Revestimentos*, que, conforme mencionado na seção anterior, “3.2 Normalização”, não determinava o uso do módulo decimétrico nem a necessidade de adotar medidas nominais inferiores à medida de coordenação para acomodar a espessura das juntas. Pode também ser atribuída ao sistema de medidas imperiais no caso de equipamentos e práticas importadas. Amorim, Kapp e Ecksterman (2010c, p. 23) relatam que, conforme seu levantamento, as linhas que tinham medidas de catálogo 30 x 30 cm, também relacionavam as dimensões 12” x 12”, que na realidade equivalem a 30,48 x 30,48 cm.

É importante considerar que, no caso dos revestimentos cerâmicos, em que os componentes são pequenos e não é desejável o refilamento das peças, essas pequenas diferenças, resultantes da unidade de medida adotada e da não contabilização da espessura da junta na definição da medida nominal, acarretam prejuízos à produção em obra. As diferenças são cumulativas e resultam em desvios expressivos. Tem-se, por exemplo, a situação demonstrada na Figura 20. Verifica-se que não é possível, com um componente de medidas nominais 15 x 15 cm, formar um conjunto modular 3M x 3M porque as juntas necessárias entre os componentes (neste caso, arbitrou-se juntas de 2 mm) resultam em desvio total de 2 cm em apenas 150 cm de comprimento (1,33%).

Figura 20 - Demonstração do desvio decorrente da não contabilização das juntas

Fonte: elaboração própria.

Atualmente, o texto unificado da NBR 15873:2010 oferece com clareza as informações necessárias para a adequação da indústria. Mas é importante que as normas específicas do segmento de revestimento sejam atualizadas. A NBR

15463:2013 – *Placas cerâmicas para revestimento – porcelanato* (ABNT, 2013a), norma mais recente pertinente ao segmento, ainda não apresenta conceitos associados à coordenação modular, tampouco nela são aplicados os termos dimensão de coordenação, ou ajuste modular. Na norma citada, não está claro se o termo “dimensão nominal” refere-se efetivamente à dimensão nominal ou à dimensão de coordenação e não é possível saber se a expressão “dimensão de fabricação” equivale à dimensão real do produto ou à dimensão nominal esperada. Ademais, as características dimensionais são especificadas por faixas de variação; assim, não é feita qualquer tentativa de controle da variedade dimensional por meio de padrões preestabelecidos.

3.3.4.2 Revestimentos melamínicos

Existe um padrão bem estabelecido para a indústria de laminados melamínicos que fornece chapas com largura de 1,25 m e três opções diferentes de altura: 2,51 m, 2,80 m e 3,08 m. As espessuras variam de acordo com a aplicação desejada (por exemplo, para paredes é de 1,3 mm; para móveis, 0,8 mm), mas de forma geral podem ser desprezadas. As dimensões, citadas por Amorim, Kapp e Ecksterman (2010c, p. 32), foram verificadas para esta dissertação por meio da consulta de três fabricantes representativos do mercado nacional – Formica, Pertech e Madepar – e, em todos os casos, são as mesmas.

Para a coordenação dessas chapas, a dimensão mais relevante é a largura, porque as chapas já podem vir cortadas com a altura necessária conforme projeto. Observa-se que a largura de 1,25 m é derivada da coordenação octamétrica, não da decimétrica. Para a coordenação decimétrica, é possível a cada duas placas compor 2,50 m, dimensão adequada para aplicação em salões e corredores, por exemplo. No entanto, para ambientes menores, a medida é inadequada, pois pode inviabilizar a compatibilização com outros elementos. Diante disso, Amorim, Kapp e Ecksterman (2010c, p. 32) recomendam que as indústrias adequem as larguras de coordenação praticadas para 1,2 m.

3.3.4.3 Forros “modulares”

A normalização aplicável ao dimensionamento dos forros “modulares” removíveis é NBR 16497:2016 – *Placa mineralizada de gesso para forro removível modular* –

requisitos (ABNT, 2016). Essa norma não faz referência à NBR 15873:2010 nem aos princípios da coordenação modular decimétrica. Ela define dimensão nominal e dimensão real, mas não apresenta os termos dimensão de coordenação e ajuste de coordenação. Não há nela nada que informe qual característica do produto faz dele um componente modular. Neste caso, a expressão “modular” é um jargão da indústria, mas o respeito às medidas de coordenação múltiplas do módulo básico ($M = 10\text{ cm}$) não é um padrão exigido.

A NBR 16497:2016 estabelece três dimensões possíveis das placas de forro – 615 mm, 650 mm e 700 mm – e também as condições de união típicas entre elas (Figura 21). Não fica claro em seu texto se as medidas estabelecidas para as placas são referentes às dimensões de coordenação ou às dimensões nominais. No entanto, dado que o conceito de coordenação não se faz presente na norma, seria natural entender que a referência seja para medidas nominais.

Figura 21 - Forro em “modular” removível: tipos de união

Fonte: adaptado de ABNT (2016, p. 1).

A partir disso, devem ser feitas algumas observações críticas. Em primeiro lugar, a medida decimétrica (700 mm) e a medida passível de formar um conjunto modular decimétrico ($650\text{ mm} \times 2 = 1.300\text{ mm}$) não servem à coordenação modular se forem dimensões nominais. A diferença entre a dimensão nominal e a dimensão de coordenação é o ajuste de coordenação, e este varia conforme o tipo de união adotado (Figura 22). Além disso, como não são informados valores para os ajustes de coordenação aplicáveis a cada caso, não é possível determinar com certeza as dimensões de coordenação correspondentes às dimensões nominais propostas.

Não obstante, pode-se deduzir que a largura nominal 615 mm corresponda à largura de coordenação 625 mm, que coincide com o sistema de octamétrico, não com o decimétrico.

Figura 22 - Dimensão de coordenação e dimensão modular

Fonte: elaboração própria.

Complementando as observações acerca da normalização técnica, esta dissertação pesquisou, em catálogos on-line, o dimensionamento praticado em todas as linhas de produtos de três fabricantes, selecionados por sua representatividade no setor.

Apurou-se que a inadequação de terminologia (dimensão nominal e dimensão de coordenação) identificada na norma técnica também está presente na indústria. Nenhum dos catálogos faz referência aos termos dimensão de coordenação ou dimensão modular. Por outro lado, a principal dimensão referenciada nos catálogos (algumas vezes chamada incorretamente de “dimensão nominal”) expressa o conceito de dimensão de coordenação. Entende-se, portanto, que, apesar do problema de terminologia, está incorporado entre os fabricantes o princípio de que a dimensão a ser padronizada é o espaço final ocupado pelo componente, ou seja, a soma da medida esperada de fabricação com a folga para tolerâncias e instalação.

Isso fica particularmente claro no catálogo do fabricante AMF Knauf que apresenta um quadro mostrando como as dimensões nominais (identificadas como “dimensões

dos painéis”) variam em função dos sistemas de fixação, enquanto as dimensões de coordenação (identificadas como “dimensões da grade”) permanecem constantes (Figura 23). Por exemplo, bordas quadradas ou tegulares resultam em medidas nominais 6 mm menores do que as medidas de coordenação, mas um sistema com perfis ocultos pede que a largura nominal seja 15 mm maior do que a largura de coordenação.

Figura 23 - Dimensões de coordenação e dimensões nominais

Código	Desenho	Descrição da borda
--------	---------	--------------------

Dimensões da grade ²⁾	Dimensões dos painéis
C/L (mm)	C/L (mm)

Bordas do sistema: instalação por inserção		
SK-04		Bordas retas
SK-05		Bordas rebaixadas (sem bisote)
SK-06		Bordas rebaixadas e chanfradas em 5 mm
Bordas do sistema: instalação por deslizamento		
VK-09		Bordas com ranhuras e chanfrados de 5 mm. Neste sistema as placas não são removíveis!
VK-10		Borda longitudinal com ranhura, bordas chanfrada em todos os lados em 5 mm. Placas removíveis!
VK-10 /5		Borda longitudinal com ranhura, bordas rebaixadas (sem bisote), com 5 mm largura da junta. Placas removíveis!

600/600 625/625 1200/600 1250/625	594/594 619/619 1194/594 1244/619
600/600 625/625 1200/600 1250/625	594/594 619/619 1194/594 1244/619
600/600 625/625 1200/600 1250/625	594/594 619/619 1194/594 1244/619
600/600 1200/600	600/600 1200/600
600/600 1200/600	600/615 1200/615
600/600 1200/600	600/615 1200/615

Fonte: adaptado do catálogo de produtos Heradesing, Knauf AMF 1/2016, disponível em <https://secureshare.knaufgroup.com/#/public/shares-downloads/R08RKh19P0NG7EzbJeZcoM63jU4MoRbl>.

Estando a prática conceitualmente correta, a questão mais importante a ser apontada é o predomínio de dimensões de coordenação referentes ao sistema octamétrico (portanto, não modulares segundo a NBR 15873:2010). O Quadro 26,

apresentado a seguir, mostra o número de linhas de produtos oferecidas pelos fabricantes para cada padrão dimensional. Dos três fabricantes consultados, apenas um oferece linhas compatíveis com a coordenação decimétrica nas dimensões de coordenação 600 x 600 mm e 600 x 1.200 mm. Os demais praticam exclusivamente as medidas derivadas do módulo básico M = 12,5 cm.

Quadro 26 - Forro “modular” removível: dimensões conforme catálogo

Legenda: Fabricante 1 Fabricante 2 Fabricante 2

*Foram pesquisadas linhas de produtos de 3 fabricantes:

- AMF KNAUF Heradesign, 7 linhas (Macro, Fine, Superfine, Micro, Plano, A2, Plus);
- OWA, 15 LINHAS (Unique, Bolero, Sinfonia, Tonica, Brillianto, Janus, Multi Alpha, Sandila Micro, Finetta HP, Sirius HP, Tacla, Decor, Ocean, Human Care, OWAlux 64/8);
- ARMSTRONG, 12 linhas (Alpina, BioGuard Acoustic, Cirrus Tegular, Dune, Encore, Fine Fissured, Georgian, Optima Vector, PerlaOP, Sahara, Scala, Ultima).

Fonte: elaboração própria.

Dados: <http://www.owa.com.br/produtos/forros-minerais-owa/>;

<http://www.knaufamf.com.br/catalogos>;

<http://www.armstrong-brasil.com.br/commclgam/latam1/pt/br/forros.html>.

3.3.5 Observações finais

Esta seção fez uma investigação geral do dimensionamento dos componentes industriais da construção civil sob o interesse da coordenação modular, identificando os aspectos mais problemáticos em cada caso. A partir disso, cabe destacar o segmento de vedações (em blocos de concreto, cerâmicos e *drywall*), que é, entre

os quatro analisados, o que se encontra mais bem organizado com relação à coordenação modular. Em contrapartida, merecem exame três segmentos – telhas, esquadrias e revestimentos cerâmicos – em que se verificam condições distintas de inadequação.

O segmento de telhas divide-se em indústrias diferentes de acordo com o material empregado, tendo em comum, no entanto, uma enorme variedade dimensional e a inadequação aos princípios da coordenação modular. As telhas cerâmicas, de fibrocimento e metálicas são dimensionadas conforme requisitos estruturais e de fabricação próprios. Em muitos casos, a conformação de um produto à coordenação decimétrica não é um processo simples devido aos equipamentos empregados e ao aproveitamento da matéria-prima. Além disso, há neste setor demanda por acessórios de acabamento e vedação compatíveis com os perfis existentes, assim como por peças de reposição. Como consequência, a continuidade no fornecimento de linhas existentes é mais importante. Diferentemente de segmentos como o de revestimentos cerâmicos, por exemplo, em que é habitual que a compra antecipada de peças de reposição, ou o de esquadrias, em que é possível fabricar componentes sob medida, no caso das telhas não é conveniente para os consumidores a descontinuidade de linhas estabelecidas.

Diante da impossibilidade de adequação de linhas existentes, é imprescindível que o fabricante forneça dados dimensionais mais completos para permitir o melhor aproveitamento do material em cada caso e que oriente, sempre que possível, a formação de conjuntos modulares. É interessante também, dentro das possibilidades de cada produtor, que novas linhas observem os princípios da coordenação modular.

Não obstante, deve-se atentar que, dos segmentos analisados, o de telhas metálicas e de fibrocimento são os que menos obstáculos enfrentam na migração para um sistema de coordenação modular, porque seus componentes costumam permitir ajustes consideráveis na instalação (com variação da distância de sobreposição) e, principalmente, porque a dimensão das telhas tem certa independência em relação ao restante da edificação e até mesmo a alguns elementos estruturais da cobertura. No caso das telhas cerâmicas, a liberdade de ajuste na sobreposição é menor; a telha-francesa, por exemplo, não permite essa variação. Ainda assim, existe

flexibilidade na disposição das telhas em relação à estrutura inferior. Para um telhado cerâmico com estrutura de madeira convencional (Figura 24), por exemplo, o espaçamento entre ripas é determinado pelo comprimento de coordenação das telhas, e o comprimento dos caibros também é um múltiplo desta dimensão; no entanto, o espaçamento entre caibros, as terças e as tesouras está mais associado às dimensões do contorno da edificação e a sua compartimentação interna.

Figura 24 - Elementos da estrutura de madeira de uma telhado convencional

Sem escala.

Fonte: Amorim, Kapp e Eksterman (2010d, p.15).

O segmento de esquadrias tem dois problemas principais em relação ao dimensionamento praticado.

O primeiro deles é a adoção de medidas nominais decimétricas em vez de medidas de coordenação decimétricas. A solução para isso não é complexa, porque envolve pequena redução no comprimento de corte dos perfis e não altera essencialmente o aproveitamento do material e a organização das linhas de produção. O problema, conforme avalia a ABDI, prejudica de forma direta a coordenação com outros sistemas da construção, mas “uma mudança nas práticas seria relativamente simples do ponto de vista técnico” (ABDI-FEC, 2009, p. 69). Por isso, o segmento poderia se beneficiar da difusão de informações específicas e de sua inclusão nas normas técnicas do setor.

O segundo problema é a prevalência de tipologias pequenas e a variedade insuficiente de tipologias sob o ponto de vista das necessidades de iluminação, ventilação, funcionais e estéticas do projeto de arquitetura. Uma porção significativa

do setor de esquadrias que opera com a fabricação sob encomenda acaba, em parte, suprimindo essa deficiência, mas com prejuízo do custo e do prazo de execução. Já projetos que optam por (ou devem) especificar componentes de linhas fornecidas por mais de um fabricante (como no caso de licitações públicas) acabam presos a soluções inadequadas ou, ao menos, indesejáveis. Portanto, no segmento de esquadrias, mais do que ajuste das dimensões praticadas, é necessária uma revisão geral da qualidade dos produtos de tamanho padrão em relação ao conjunto completo de requisitos do usuário.

Os revestimentos cerâmicos também formam um setor em que não se observa um padrão dimensional correspondente à coordenação decimétrica. Neste caso, há pouca justificativa técnica e identificam-se problemas típicos de uma prática industrial inadequada – grande variedade dimensional com medidas próximas entre si; ausência da padronização decimétrica e uso de dimensões provenientes do sistema pé-polegada; arredondamento das medidas apresentadas em catálogo; e não observância do ajuste de coordenação da determinação das medidas nominais. A variedade dimensional oferecida (inclusive por um mesmo fabricante) e o frequente lançamento de novas linhas de produtos indica que não há obstáculo importante para a adequação das dimensões, e sim, talvez, desinteresse ou desconhecimento de como fazê-la.

Ao tratar dos revestimentos cerâmicos, é pertinente uma observação concernente também a outros componentes de revestimento. Em tese, a coordenação do restante da edificação poderia gozar de certa independência em relação ao dimensionamento dos componentes de revestimento porque esses são executados no final da construção. Isso significa dizer, por exemplo, que a falta de padronização dimensional da cerâmica não necessariamente compromete a racionalidade da alvenaria e que a distribuição das placas do forro não determina o espaçamento da estrutura. No entanto, diante de seu impacto sobre os custos de construção, mas também devido à importância que têm na comunicação do ritmo e da lógica de organização do espaço, é comum que os revestimentos (como placas de forro e piso, e painéis internos e externos) sejam usados como unidade básica de coordenação dimensional do projeto de arquitetura.

Como visto no referencial teórico desta dissertação, a unidade básica da coordenação modular é o decímetro ou um múltiplo inteiro dele. Conceitualmente, não é correto usar um componente construtivo como unidade de coordenação modular. Na prática, desde que a dimensão desse componente corresponda a um múltimódulo, o resultado obtido pode ser equivalente. Porém, quando o componente está em desacordo com os princípios da coordenação modular decimétrica, o método é comprometido. Neste caso, é possível ter uma excelente solução para um projeto determinado, mas ela não contribui para o objetivo máximo de integração universal de indústrias e projetos.

A esse respeito, convém usar como exemplo uma reportagem da revista *Construção Mercado* de 2011 que trata do projeto arquitetônico de um edifício de conjuntos empresariais em São Paulo (Figura 25) (REIS, 2011). A reportagem, intitulada “Pilares modulares otimizam forro”, explica que a coordenação dimensional⁴⁴ empregada se baseou no dimensionamento padrão das placas de forro (125 x 125 cm). A partir disso, organizaram-se os eixos estruturais (posicionados a cada 7,5 m), as divisórias internas e as instalações de ar-condicionado, sprinklers e luminárias. O autor do projeto relata que, para o forro, a coordenação dimensional cria situações repetidas de encontro com a estrutura, simplificando os arremates e agilizando a execução. No entanto, é interessante observar que, conforme descreve a reportagem, nesse caso o forro é um dos últimos elementos instalados, não sendo executado pela construtora, e sim individualmente, pelas empresas que ocupam cada conjunto. A partir disso, é possível supor que, mais do que uma solução técnica para racionalizar a execução de elementos que se repetem em todos os andares, o método objetiva estabelecer uma lógica regular no projeto. Forro e pilares constituem, assim, uma malha que organiza o espaço não só tecnicamente, mas também visualmente. Tal exemplo ilustra como o dimensionamento de um componente de revestimento (que no caso corresponde à coordenação octamétrica, não à decimétrica) acaba tendo um impacto mais extenso sobre o dimensionamento geral do projeto do que se poderia prever a princípio.

⁴⁴ A matéria emprega o termo “coordenação modular” em vez de “coordenação dimensional”. No entanto, conforme a definição normalizada (NBR 15873:2010), o uso não é adequado, porque a unidade básica de coordenação não foi o decímetro.

Figura 25 - Coordenação dimensional baseada em unidade de forro (125 x 125 cm)

Sem escala.

Fonte: Reis (2011).

4 O ESPAÇO DO HOMEM

A presente seção trata dos aspectos humanos na coordenação modular, estabelecendo um contraponto à visão segundo a qual ela seria essencialmente produto da revolução industrial e teria como único objetivo racionalização e economia. A seção aborda os fundamentos de ordem e proporção que originalmente se relacionaram ao tema e também como sistemas específicos de construção geométrica e subdivisão possuem propriedades visual e funcionalmente benéficas à coordenação dimensional. Explora também como os elementos ergonômicos, ambientais, socioculturais e psicológicos são considerados na concepção do espaço construído e como são percebidos pelo homem. Ao fim, investiga como a coordenação modular se relaciona à qualidade do espaço em sua capacidade de atender às necessidades do homem.

Existem duas características fundamentais no dimensionamento de qualquer objeto ou espaço: a escala e a proporção. A escala se refere ao tamanho de algo em comparação a qualquer referência dimensional – uma pessoa, um objeto ou uma unidade arbitrada (como o metro ou a polegada). Já a proporção diz respeito ao conjunto de relações matemáticas entre as partes e desta com o todo (CHING, 2002, p. 278, 313). As duas características podem ser avaliadas quantitativa ou qualitativamente.

A seção anterior explicou que escala e proporção são com frequência condicionadas pelas características dos materiais, sua função no conjunto do edifício (estrutural ou de vedação, por exemplo) e pelas limitações do sistema produtivo. Porém, para que seja capaz de responder às situações e demandas variadas, a arquitetura também pressupõe a possibilidade de controle sobre essas formas. “A decisão de se conferir a um ambiente uma planta quadrada ou oblonga, uma escala íntima ou grandiosa, ou de dotar um edifício de uma fachada imponente, mais elevada do que o normal, cabe legitimamente ao arquiteto” (CHING, 2002, p. 283). A partir disso, Ching propõe a questão: sobre quais fundamentos essas decisões são tomadas?

As decisões do dimensionamento – largura, comprimento, altura – estão longe de ser arbitrárias. A função do espaço, a natureza das atividades que irá acomodar, o contexto externo e os ambientes adjacentes podem determinar a forma adotada,

assim como uma referência a algum outro edifício, tipologia ou mesmo ao período de construção. Pode também atuar um julgamento estético das relações desejáveis entre as partes e o todo do edifício (CHING, 2002, p. 281-283). O tamanho e a proporção dos elementos têm o importante papel de ordenar e articular o espaço, concedendo-lhe atributos tais como unidade, ritmo e estrutura hierárquica. Ademais, como escala e proporção tratam sempre da dimensão relativa entre objetos ou objetos e espaço, o dimensionamento está diretamente relacionado à percepção sensorial e à escala do corpo humano, que é a referência primeira desta percepção (CHING, 2002, p. 313-317).

Diante de tantos e tão distintos fatores que atuam sobre o dimensionamento dos espaços, fica explícita a necessidade de uma abordagem integrada.

Okamoto (1996) critica a visão direcionada exclusivamente por grande objetividade racional. O autor lembra que aspectos da realidade exterior relacionados exclusivamente às questões materiais têm colocado em segundo plano as aspirações humanas e a relação afetiva com o espaço (OKAMOTO, 1996, p. 9). Ao escrever que “projetamos no positivo, construímos no positivo, mas vivemos no espaço negativo”, Okamoto (1996, p. 11) traz a atenção para o fato de que o espaço é construído por processos aditivos em que são determinantes realidades materiais, mas é experimentado de uma forma inteiramente diversa. É possível extrapolar sua colocação e afirmar que a indústria define contornos à matéria e reforça esses processos aditivos, mas o espaço ocupado pelo homem é negativo, ou seja, vazio e fluído.

Dimensionar esses espaços não significa aplicar regras deterministas, estabelecer relações que possibilitem apropriações diversas. Este é o enfoque a ser considerado em qualquer processo criativo e que a coordenação modular, quando entendida como sistema para ordenação relativa de espaços e componentes da construção, não pode ignorar.

É sob esta ótica que se estruturam as subseções apresentadas a seguir. A subseção “Ordem” investiga a relação da coordenação dimensional com a unidade do conjunto e com a combinabilidade das partes. A subseção “Ergonomia e percepção” aborda a relação existente entre as medidas do homem, o espaço

ocupado por suas atividades e os fatores que afetam sua apreensão do espaço. A subseção “Qualidade” avalia a coordenação modular sob a perspectiva, não da eficiência de produção, mas da máxima capacidade de satisfação dos usuários.

4.1 ORDEM

“Ordem sem diversidade pode resultar em monotonia e enfado; diversidade sem ordem pode produzir caos” (CHING, 2002, p.320).

A ordem, entendida como uma resposta à complexidade e à diversidade, relaciona-se bem ao conceito de modularidade em seu sentido mais amplo, que extrapola o domínio da arquitetura. É possível citar Russel (2012, p. 257-258), que avalia como o termo modularidade vem sendo, desde a segunda metade da década de 1970, apropriado por diversos campos do conhecimento, das ciências da computação e informação às ciências naturais e humanas. Ainda que haja idiossincrasias, de acordo com o autor, o denominador comum entre os significados específicos que a palavra assume nas diversas áreas é descrever relações de um sistema com seus componentes, em que há uma forma de administrar a complexidade em um cenário dinâmico. Nesses campos, a modularidade se tornou uma forma de investigação em que se busca uma estratégia para imputar dados variáveis e, a partir deles, extrair resultados segundo um conjunto de processos pré-determinados. Nesse sentido, a modularidade trata mais da construção e da ordenação dos processos do que da padronização dos resultados.

Na arquitetura, a noção de conceber princípios de ordenação que controlam a composição do projeto é comum a várias manifestações ao longo da história. Muitas foram as relações dimensionais e propriedades geométricas investigadas. As estratégias de ordenação, no entanto, não diferem em seu propósito de criar unidade em face à diversidade.

Os princípios de ordenação elencados por Ching (2002, p. 321-373) são eixo, simetria, hierarquia, ritmo ou repetição, dado⁴⁵ e transformação (Figura 26). A ordem arquitetônica, de acordo com o autor, é criada por meio de relações entre as partes do conjunto e dessas, com o todo.

Figura 26 – Princípios de ordenação elencados por Ching

Sem escala.

Fonte: Ching (2002, p. 221).

Para Clark e Pause (1983) os princípios de ordenação são um marco conceitual tanto para a tomada de decisões no desenho, quanto para sua apreensão visual. Entre esses princípios, os autores indicam a simetria e o equilíbrio, a retícula e a geometria, a hierarquia e a justaposição de superfícies (Figura 27). Conforme

⁴⁵ Dado, conforme Ching (2002, p. 346), é um elemento que organiza um padrão aleatório de outros elementos através de sua regularidade, continuidade e presença constante. Um eixo, em sua capacidade de organizar elementos ao longo de seu comprimento, constitui um dado; mas um dado não é necessariamente uma linha reta, pode também ser uma plano ou um volume.

explicam, a aplicação dos diferentes princípios de ordenação pode proporcionar resultados diversos, assim como um mesmo princípio pode gerar várias soluções.

Figura 27 - Aplicação dos princípios de ordenação conforme Clark e Pause na Unidade de Habitação de Marselha de Le Corbusier

Sem escala.

Fonte: adaptado de Clark e Pause (1983, p. 156, 174, 187, 197).

A avaliação de Clark e Pause demonstra, tanto quanto a de Ching (2002), que os elementos não precisam ser idênticos para que sejam agrupados de forma ordenada. Eles podem compartilhar um denominador comum, na origem ou expressão da forma, permitindo que cada qual seja único, ainda que pertencendo à mesma família.

Pode-se também recorrer a Hertzberger (2006, p. 126), que explica que a ordem de um edifício é a unidade que surge quando as partes formam um conjunto e derivam dele de maneira igualmente lógica, ou seja, existe unidade e reciprocidade nas relações. Para ele, a estratégia geral que garante essa unidade é o que chama de “estrutura”. A palavra estrutura é usada figurativamente para expressar uma “moldura” que demarca relações constantes e referências para a criação. Essa estrutura é tanto uma ferramenta que baliza as definições no momento de produção quanto uma realidade subjacente no espaço que permite sua compreensão – “é o fio comum arquitetônico que perpassa o conjunto inteiro, tornando legíveis seus diversos componentes e desse modo ordenando-os” (HERTZBERGER, 2006, p. 138-139). Por isso, com frequência, o autor a compara com a estrutura gramatical da linguagem, que permite elaborar, expressar e compreender ideias variadas e complexas.

Assim como acontece na linguagem, segundo Hertzberger (2006, p. 138), a existência da estrutura não restringe em nada a liberdade de preenchimento do espaço nela contido; ao contrário, permite ampliá-la. Essa é a mesma ideia expressa por Andrade (2000, p. 47-48) ao defender que a coordenação das dimensões impõe certos limites na ação criadora, mas não restringe as possibilidades de criação porque a liberdade está necessariamente associada a limites. Nessas afirmações está contida a ideia de que a liberdade é uma realidade que se constrói diante de condicionantes que expressam finalidades e limites. A obediência a um padrão ou mesmo o estabelecimento de uma exceção têm valor em um processo consciente e inteligível. Uma definição que se faz onde não há ordem não constitui liberdade porque não é uma escolha, é um acidente.

As regras de composição não substituem, mas auxiliam o processo criativo. O entendimento dos princípios organizacionais subjacentes traz à criação ferramentas para exercitar as qualidades de coesão e pertencimento. Por meio da geometria, é

possível identificar uma explicação para muitas decisões, ainda que esses princípios possam diferir na forma de aplicação – seja ela intuitiva ou deliberada, rígida ou flexível (ELAM, 2011, p. 43).

A estrutura de ordenação pode, e assim o faz por seus objetivos e meios, coincidir com um sistema de coordenação dimensional, assumindo a forma de uma retícula, também conhecida como malha.

Essa retícula não é necessariamente a mesma definida pelo módulo básico decimétrico de que trata a normalização da coordenação modular. Ching (2002, p. 221) explica que, a partir de sua configuração inicial regular, ela pode sofrer transformações que criarão zonas com características diversas, diferentes em tamanho, proporção e localização (Figura 28). Para estabelecer relações hierárquicas, demarcar um ritmo, acomodar as exigências funcionais ou, ainda, para articular espaços de diferentes proporções é possível tornar o espaçamento entre eixos irregular em uma ou mais direções. Porções inteiras da malha podem também ser transladadas ou rotacionadas para alterar a continuidade visual através de seu campo. Além disso, a malha pode ser completamente interrompida para definir um espaço principal ou acomodar uma pré-existência que fuja à organização geral.

Figura 28 – Organizações em retícula

Sem escala.

Fonte: Ching (2002, p. 221).

Igualmente, Clark (1997, p. 6-7, 240-241) demonstra nos esquemas reproduzidos na Figura 29 e na Figura 30 as diferentes configurações que a retícula encontrou na história da arquitetura. As variações são obtidas mediante multiplicação, subdivisão e combinação de módulos, rotações, translações e outras manipulações de eixos. Os resultados se diferenciam pela configuração da geometria, frequência e complexidade. Sob esse entendimento, o papel da retícula na criação da arquitetura se relaciona com medidas e quantidades, mas também é imbuído de fatores que se estabelecem relativamente como escala, situação (posição), forma e proporção.

Figura 29 – Modelos de retícula

RETÍCULA QUADRICULADA

1. VILLA FOSCARI. Andrea Palladio. Aprox. 1549-1563.
2. CONDOMÍNIO SEA RANCH. Charles Moore. 1964-1965.
3. CROWN HALL. Ludwig Mies Van der Rohe. 1950-1956.
4. TEMPLO DE APOLO. Paeonius e Daphnis. Aprox. 310 a.C.
5. CASA DA CASCATA. Frank Lloyd Wright. 1935.
6. SEDE CENTRAL DE ENSOGUTZEIT. Alvar Aalto. 1959-1962.

RETÍCULA RETANGULAR

7. ARMAZÉNS CARSON, PIRIE & SCOTT. Louis Sullivan. 1899-1903.
8. BIBLIOTECA DE SAINTE-GENEVIÈVE. Henri Labrouste. 1838-1850.
9. CASA FARNSWORTH. Ludwig Mies Van der Rohe. 1945-1950.
10. EDIFÍCIO LARKIN. Frank Lloyd Wright. 1903.
11. FÁBRICA A.E.G. Peter Behrens. 1910.
12. QUARTO TEMPLO DE HERA. Rhoikos de Samos. 575-550 a.C.

Sem escala.

Fonte: Clark (1997, p. 240-241).

Figura 30 – Modelos de retícula

RETÍCULA TARTÃ

13. MUSEU DE ARTE KIMBALL. Louis I. Kahn. 1966-1972

14. CASA TRENTON BATH. Louis I. Kahn. 1955-1956.

15. SAN SEBASTIANO. Leon Battista Alberti. 1459.

RETÍCULA TARTÃ COM TRÊS UNIDADES

16. CAPITÓLIO DO ESTADO DE NEBRASKA. Bertram Goodhue. 1924.

17. CATEDRAL DE NOTRE DAME. Arquiteto desconhecido. 1163 aprox. 1250.

18. CASA VISSER. Aldo Van Eyck. 1975.

RETÍCULA TRIANGULAR

19. RESIDÊNCIA JORGINE BOOMER. Frank Lloyd Wright. 1953.

20. GALERIA NACIONAL DE ARTE: ALA LESTE. Ieoh Ming Pei. 1975-1978.

21. IGREJA UNITÁRIA. Frank Lloyd Wright. 1949.

TRANSLAÇÃO DA RETÍCULA

22. ESCOLA DE ENGENHEIROS. James Stirling. 1959.

23. AUDITÓRIO. Louis Sullivan. 1887-1890.

24. EDIFÍCIO TURUM SANOMAT. Alvar Aalto. 1927-1929.

GIRO E SUPERPOSIÇÃO DE RETÍCULAS

25. BIBLIOTECA DO COLÉGIO WELLS. Skidmore-Owing-Merrill. 1968.

26. EDIFÍCIO THE ANKER. Otto Wagner. 1895.

27. MUSEU DE BELLAS ARTES GUMMA. Arata Isozaki. 1971-1974.

Sem escala.

Fonte: Clark (1997, p. 241).

Para entender o significado dessa relatividade que extrapola a simples regularidade da retícula quadriculada usada para expressar quantidades em múltiplos modulares, convém recuperar os conceitos de ordem e modularidade tal como se estabeleceram na Antiguidade Clássica.

Figura 31 – Fachada e detalhes de templo da Ordem Toscana

Recorrendo-se ao tratado *De Architectura* de Vitrúvio (VITRUVIUS, 2007, p. 74-76), é possível aplicar os conceitos de eurritmia e comensurabilidade⁴⁶. A eurritmia deriva da correta proporção entre as partes – altura para largura, largura para comprimento, comprimento para altura. A comensurabilidade provém da concordância no conjunto das dimensões e proporções empregadas nos diferentes elementos. A associação de eurritmia e comensurabilidade significa que, para cada elemento existe uma correta proporção, e que o conjunto de proporções dos diferentes elementos deve ter o módulo como divisor comum.

Uma dimensão é primeiramente determinada e julgada em sua relação com outra dimensão do mesmo elemento a que pertence, ou seja, a altura se define junto à largura, a largura junto à profundidade e assim por diante. Mudanças na razão característica de uma forma têm o poder de evocar sensações e alterar o modo como se interpreta um objeto ou um espaço (Figura 32). Por exemplo, um quadrado é uma forma estática; espaços em que a planta tende a uma proporção quadrada sugerem usos de atividade e reunião. À medida que se alonga, a forma se torna mais dinâmica, sugere movimento ou uma sucessão de acontecimentos (CHING, 2002, p. 283).

Figura 32 - O efeito de variações na proporção em retângulos que tendem à mesma área (400 m²)

Sem escala.

Fonte: Ching (2002, p. 283).

⁴⁶ Nesta tradução, aplica-se o termo comensurabilidade para expressar a palavra original *Symmetria*. Esta *Symmetria*, por sua vez, refere-se a uma simetria modular obtida por padrões de relação entre as partes, mais abrangente do que as ideias atuais de simetria bilateral e de simetria radial.

Em segunda instância, as dimensões de um elemento se relativizam em sua relação com outros elementos da composição. A esse respeito, o conceito a ser considerado é o de escala visual – que trata não das dimensões reais das coisas, mas de sua escala comparada ao seu contexto –, já que o tamanho percebido pelo olho humano é sempre relativo. Mudanças de escala em um elemento são recursos usados para expressar importância e hierarquia, por exemplo (CHING, 2002, p. 214). Elementos que são familiares ao homem (janelas, degraus, portas) e principalmente seu próprio corpo são usados como pistas, referências para o entendimento dessa escala visual (Figura 33).

Figura 33 – Escala visual

Sem escala.

Fonte: Ching (2002, p. 315).

A apreensão feita pelo homem das dimensões físicas, proporção e até escala da arquitetura é imprecisa, por vezes distorcida pelo escorço da perspectiva, pela distância e até pelos vieses culturais (CHING, 2002, p. 284). As dimensões podem, por isso, ser alteradas deliberadamente para mudar ou corrigir a percepção que o usuário tem do espaço arquitetônico. É interessante mencionar que Vitruvius, ao descrever o correto dimensionamento das partes dos templos feito a partir do diâmetro da coluna, ensina que as colunas limítrofes (nos vértices externos do templo) deveriam possuir diâmetro 1/50 maior do que as demais para compensar a distorção da percepção visual resultante de sua posição.

E até as colunas angulares deverão ser executadas mais espessas a quinquagésima parte do diâmetro modular, porque, cortadas em volta pelo

ar, parecem mais gráteis ao que as contemplam. Pois o que falta aos olhos deverá ser contrabalançado pelo raciocínio. (VITRUVIUS, 2007, p. 182)

Diante da relatividade da percepção ou, como coloca Ching (2002, p. 284), do fato de que dimensões e relações precisas não podem ser sempre objetivamente percebidas, surge a questão: por que os sistemas de dimensionamento e proporcionalidade são úteis para a composição estética? Para ele, subjacente a um sistema de proporcionalidade está uma qualidade permanente que se transmite de uma forma à outra. Ainda que a percepção não seja uma ciência exata e que as relações não sejam sempre conscientemente percebidas, a ordem visual que criam pode ser sentida através de uma série de experiências que se repetem (CHING, 2002, p. 284). “Após um certo período de tempo, podemos começar a ver o todo na parte, e a parte no todo” (CHING, 2002, p. 284).

Portanto, a ordem não reside na repetição exata de dimensões e, tampouco, de razões, mas, sim, na permanência de uma característica que governa todos os elementos variáveis. Esta ordem é reconhecida e procurada pelo homem.

Andrade (2000, p. 44) afirma que a aplicação de sistemas de proporção no dimensionamento da construção, assim como se estabeleceu na Antiguidade, torna possível, ao mesmo tempo, unificar visualmente uma multiplicidade de elementos e reduzir a variedade no tamanho dos componentes. Para o método de produção industrial, tais sistemas de proporção associados à coordenação modular poderiam compatibilizar componentes standardizados com princípios de composição arquitetônica. Deve-se lembrar, entretanto, que, para a indústria, o módulo não é uma referência matemática ou estética abstrata; ele tem limites muito concretos que determinam os objetos fabricados. Por isso, a validação da relação entre os sistemas de proporção com a coordenação modular requer que sejam estabelecidas algumas distinções sobre os tipos de proporção e seu impacto na materialidade do módulo.

Andrade (2000, p. 46) faz referência à Ehrenkrantz⁴⁷ ao explicar que existem duas formas principais de aproximação ao problema da proporção: a simetria estática,

⁴⁷ EHRENKRANTZ, E. D. **The Modular Number Pattern: Flexibility Through Standardisation**. Londres: Alec Tiranti, 1956.

também conhecida como harmônica, e a simetria dinâmica⁴⁸. A simetria estática estabelece relações em que as dimensões são comensuráveis na primeira potência, “ou seja, o dividendo e o divisor da razão pertencem aos números racionais” (ANDRADE, 2000, p. 51), como por exemplo, 1/1, 1/2, 1/3, 2/3, 3/4 etc (Figura 34). Nesse sistema, é sempre possível referenciar as dimensões à medida da unidade inteira original, o módulo.

Figura 34 – Exemplos de aplicação da simetria estática

Sem escala.

Fonte: Andrade (2000, p. 51).

Diferentemente, os sistemas de simetria dinâmica utilizam razões em que o divisor é um número irracional⁴⁹, por exemplo, $1/\sqrt{2}$, $1/\sqrt{3}$, $1/\sqrt{5}$ etc (Figura 35). Logo, um de seus membros, ainda que possa ser representado geometricamente, é um número incomensurável quando elevado à primeira potência (ANDRADE, 2000, p. 51).

⁴⁸ Neste caso, o termo simetria é aplicado da maneira como fazia Vitruvius, não no sentido da simetria bilateral, mas para expressar comensurabilidade e proporção.

⁴⁹ Um número irracional é um número real que não pode ser obtido pela divisão de dois números inteiros. A constante áurea (ϕ) é um número irracional ($\phi = \sqrt{1,25 + 0,5}$).

Figura 35 – Exemplos de aplicação da simetria dinâmica

Sem escala.

Fonte: Andrade (2000, p. 52).

Sistemas modulares têm em comum com a simetria estática a possibilidade de expressar qualquer magnitude como um múltiplo racional de uma unidade, o módulo. Assim, uma unidade (M) pode ser multiplicada ou dividida inúmeras vezes por um número racional inteiro e continuará sempre podendo ser representada por “n” x M, em que n também é um número racional. Mas isso não é sempre verdade quando o múltiplo é um número irracional. Conforme ilustrado na Figura 36, uma série numérica em que a razão do crescimento é um número racional inteiro sempre guardará comensurabilidade com a referência dimensional original da série (M). Por sua vez, se a razão for a raiz de um número inteiro, os números da série terão correspondência com o módulo original apenas a cada duas operações de multiplicação (quando a razão estiver presente na potência de 2). Finalmente, uma série formada por raízes não inteiras (como a seção áurea, por exemplo) tem unidades que não são comensuráveis ao módulo original.

Figura 36 - Comparação de séries de razão racional (2 e 3) e séries de razão irracional ($\sqrt{2}$ e ϕ) em sua relação com a referência original da série (M)

Sem escala.

Fonte: elaboração própria.

Marie-Pascale Corcuff (2012, p. 53-56), em um artigo que investiga o papel da modularidade e da proporcionalidade na geração da forma, explica que os sistemas de proporção que se baseiam na divisão ou multiplicação de uma unidade por números racionais são verdadeiramente modulares, porém, os que se baseiam na divisão por um número irracional, não. Enquanto ambos os sistemas de proporção são válidos, sua relação com a construtibilidade não é a mesma.

A multiplicação ou a divisão por números irracionais geram séries numéricas que não podem ser “traduzidas” por simples soma ou subtração do módulo original M. Esta é uma constatação importante para a construtibilidade porque, quando se executa, por exemplo, uma parede a partir de blocos pré-fabricados, o que se está fazendo é essencialmente uma soma de unidades iguais. A união de componentes na obra é um processo essencialmente aditivo.

A simetria estática teve aplicação difundida na arquitetura clássica grega e romana e se relacionava aos mesmos princípios de divisão pitagórica da escala musical, motivo pelo qual também é conhecida como harmônica (ANDRADE, 2000, p. 53; CHING, 2002, p. 298). Em Vitrúvio (2007), faz-se presente justamente nas operações aritméticas modulares que usam o diâmetro da coluna para determinar as demais dimensões da construção.

Ela foi posteriormente retomada pelos arquitetos da Renascença (CHING, 2002, p. 298; FRINGS, 2002, p. 10-16). Frings relata que Leon Battista Alberti, em seu tratado *De re aedificatoria*, recomendou aos arquitetos o uso de proporções simples, especialmente as relacionadas à escala musical. No século XVI, até Luca Pacioli, autor do tratado *Divina Proportione* que aborda a constante irracional áurea, ao tratar da arquitetura seguiu os princípios Vitruvianos. De acordo com Frings, Pacioli indica o uso de formas circulares, quadradas e retangulares com razões de números inteiros como $1/2$, $1/3$, $3/4$, $2/3$, fazendo uma única exceção para o retângulo de razão $1/\sqrt{2}$, para o qual recomendava aplicação restrita ao desenho e não ao cálculo. Seguindo a mesma tradição, Serlio também usou as proporções simples e comensuráveis $1/1$, $4/5$, $1/\sqrt{2}$, $3/4$, $2/3$, $3/5$ e $1/2$ (reproduzidas na Figura 37) (FRINGS, 2002, p. 16). Semelhantemente, Ching (2002, p. 299) informa que em *Os quatro livros da arquitetura*, Andrea Palladio seguiu Alberti e Serlio ao propor sete proporções desejáveis, sendo estas o círculo, o quadrado ($1/1$), e os retângulos $1/\sqrt{2}$, $3/4$, $2/3$, $3/5$ e $1/2$. Ching não se aprofunda na análise das diferenças que caracterizam os sistemas de proporção. Já Frings, assim como Corcuff (2012, p. 56), expressa que, ainda que os arquitetos clássicos e renascentistas conhecessem as proporções dinâmicas, em geral não viam necessidade na aplicação de proporções tão complicadas. Preferiam indicar o uso de proporções de razões simples e comensuráveis, exceção feita a $1/\sqrt{2}$, que é facilmente construída tanto no desenho quanto na obra (FRINGS, 2002, p. 14, 16; CORCUFF, 2012, p. 56).

Figura 37 - As sete mais importantes proporções na arquitetura, segundo Serlio

L I B R O P R I M O . 15
Le proportioni quadrangolari sono molte: ma io quiui ne pongo sette principali, delle quali l'Architetto a diuerse cose se ne potrà seruire, & accommodarsene in più accidenti, & quella che non sarà per vn luogo, potrà seruire ad vn altro, come saprà usarle.

Questa primiera forma è d'un quadro perfetto di quattro lati uguali, & quattro angoli retti.

Questa seconda figura è vna sesquiquarta, cioè vn quadro, & vn quarto.

Questa terza figura è vna sesquitercia, cioè vn quadro, & vn terzo.

Questa quarta figura si dice proportione diagonea, laquale si fa così: sta tirata nel quadro perfetto vna linea a sciancio da angolo ad angolo, & quella linea darà la longhezza di questa proportion, laquale è irrationabile, nè si troua proportion alcuna dal quadro perfetto, a questo crescimento.

Questa quinta figura sarà sesquialtera, cioè d'un quadro & mezzo.

Questa sesta figura sarà di proportione superbipartiens tertias, cioè partito il quadro perfetto in tre parti uguali, & a quello aggiuntene due.

Questa settima, & vltima proportione sarà doppia, cioè di due quadri, & sopra questa forma nelle cose buone antiche non s'è trouata forma che ecceda alla doppia, eccetto anditi, loggie, qualche porte, & finestre, lequali han passato di alquanto: ma di vestiboli, sale, camere, & altre cose habitabili non si comporta fra gl'intendenti, perche non è comoda.

Fonte: Serlio⁵⁰ apud Frings (2002, p. 15).

Não se deve ignorar, todavia, que proporções importantes para a história da arquitetura se baseiam em frações de números irracionais. Algumas delas, como a razão áurea e o retângulo $1/\sqrt{2}$, têm propriedades geométricas de autossimilaridade

⁵⁰ SERLIO, Sebastiano. *Tutte l'opere d'architettura et prospettiva di Sebastiano Serlio Bolognese*. Ridgewood, NJ: Gregg, 1964.

que lhes garantem lugar de destaque em sistemas de coordenação dimensional (não modulares). Isso significa que elas podem ser manipuladas de forma a reproduzir em todas as escalas sempre a mesma configuração.

O retângulo $1/\sqrt{2}$ pode ser infinitamente subdividido ao meio gerando dois novos retângulos de mesma proporção. Quando aplicado ao dimensionamento de folhas e chapas, por exemplo, gera cortes muito eficientes, em que todas as partes são aproveitáveis e não há restos. É por essa razão que ele é a base para o padrão de tamanho de papéis ISO 216 (A0, A1, A2, A3 etc.) (ELAM, 2011, p. 32-36).

A razão áurea é uma constante real algébrica irracional com valor arredondado a três casas decimais de 1,618 (ou $\sqrt{1,25 + 0,5}$). Duas dimensões estão em razão áurea se sua razão for igual à razão da sua soma pela maior das dimensões. Ela pode ser expressa algebricamente pela equação: $(A+B)/A = A/B$. Sua expressão geométrica – a secção áurea (Figura 38) – se define como uma linha dividida em dois segmentos de tal forma que o comprimento total (A+B) está para o maior segmento (A) assim como o maior segmento (A) está para o menor segmento (B) (CHING, 2002, p. 286).

Figura 38 – Secção áurea

Fonte: elaboração própria.

A seção áurea está relacionada a construções geométricas notáveis como o triângulo áureo, o pentagrama (estrela de cinco pontas), a espiral logarítmica e, a principal delas, o retângulo áureo (ELAM 2011, p. 30). A divisão do retângulo áureo (Figura 39) em um quadrado e um novo retângulo áureo menor pode ser repetida infinitamente, com variação de escala e configuração idêntica (CHING, 2002, p. 287). Disso resulta que quadrados e retângulos assim construídos podem, mesmo em diferentes escalas, ser organizados em composições variadas.

Figura 39 – Retângulo áureo

Fonte: elaboração própria.

De acordo com Ching (2002, p. 286), foram os gregos quem reconheceram a presença da razão áurea na natureza e na proporção do corpo humano, acreditando ser essa a expressão de uma ordem universal mais elevada. Ching e também Elam (2011, p. 6-7) relatam que a razão áurea foi posteriormente explorada pelos renascentistas na escultura, pintura e arquitetura.

Frings (2002, p. 26), por outro lado, representa uma porção de autores contemporâneos que atribui menor importância à razão áurea, afirmando que, na verdade, ela teria ganho destaque na teoria da arquitetura apenas no século XIX, a partir das pesquisas de Zeising⁵¹ e Fechner⁵², e se tornado uma espécie de moda nas terceira e quarta décadas do século XX (época em que Neufert e Le Corbusier vieram a aplicá-la). Independentemente do peso que lhe seja conferido por diferentes autores, dos que concordam ou discordam do seu papel metafísico relacionado a um desígnio divino nas formas, o que está estabelecido é que seus atributos geométricos garantem presença frequente nos padrões de crescimento de plantas e animais e nos objetos humanos (ELAM, 2011). Ademais, deve-se considerar que, nas produções humanas, a presença dessa proporção é reforçada pelo desejo de reproduzir qualidades identificadas na natureza e porque o

⁵¹ ZEISING, Adolf. **Neue Lehre von den Proportionen des menschlichen Körpers aus einem bisher unerkannt gebliebenen, die ganze Natur und Kunst durchdringenden morphologischen Grundgesetze entwickelt und mit einer vollständigen historischen Uebersicht der bisherigen Systeme begleitet.** Leipzig: Weigel, 1854.

_____. **Der goldene Schnitt.** Halle: Engelmann, 1884.

⁵² FECHNER, Gustav Theodor. Über die Frage des goldenen Schnitts. Archiv für die zeichnenden Künste 11: 100-112.

_____. Vorschule der Ästhetik. Leipzig: Breitkopf & Härtel, 1876.

_____. Warum wird die Wurst schief durchgeschnitten? In: **Kleine Schriften.** Leipzig: Breitkopf & Härtel, 1973.

dimensionamento de espaços e objetos feito a partir dela guarda uma relação já bem conhecida pelo homem (LE CORBUSIER, 1954).

Conforme apresentado por Elam (2011, p. 32-36), o entendimento do princípio da autossimilaridade da subdivisão do retângulo áureo pode ser complementado pelo exame de outros retângulos com propriedades semelhantes. A autora explica que, além do retângulo áureo e do retângulo $1/\sqrt{2}$, outros retângulos de frações irracionais são passíveis de subdivisões contínuas que resultam em novos retângulos com a mesma proporção do retângulo original (Figura 40).

Figura 40 - Subdivisão dos retângulos $1/\sqrt{2}$, $1/\sqrt{3}$, $1/2$, $1/\sqrt{5}$, $1/\sqrt{6}$

Fonte: elaboração própria, baseado em Elam (2011, p. 32-42).

O que Elam não explica, no entanto, é que há uma relação matemática simples e geral possível de ser induzida dos exemplos dados. Em retângulos que possuem entre os lados a razão $1/n$, o lado de dimensão n poderá ser dividido em n^2 partes, resultando em n^2 retângulos derivados de mesma razão $1/n$ (Figura 41).

Figura 41 - Demonstração do princípio que gera autossimilaridade nos retângulos $1/\sqrt{2}$, $1/\sqrt{3}$, $1/2$, $1/\sqrt{5}$, $1/\sqrt{6}$ etc.

Fonte: elaboração própria.

Assim, é fácil entender porque o retângulo $1/2$, por exemplo, que é uma fração racional simples, possui também essa mesma propriedade de autossimilaridade. Ele é, inclusive, apresentado por Elam (2011) e Andrade (2000), chamado de retângulo $1/\sqrt{4}$, na mesma família dos retângulos de razões irracionais, ainda que $\sqrt{4}$ não seja matematicamente um número irracional. Isso garante que o retângulo $1/2$ seja comensurável ao módulo original (simetria estática) e que tenha a autossimilaridade que caracteriza algumas proporções irracionais.

O retângulo $1/2$ está presente no sistema de coordenação da construção tradicional japonesa. O sistema modular de uma casa tradicional japonesa possui uma malha regular quadriculada que ordena estrutura, componentes e espaços a partir de uma unidade dimensional (módulo) chamada *ken* (Figura 42). Dentro desse sistema, os cômodos são preenchidos por esteiras retangulares de lados $1 \times 1/2$ ken (CHING, 2002, p. 306-307). A característica de que dois lados menores justapostos equivalem ao lado maior do componente, que por sua vez é igual à unidade dimensional que determina todos os ambientes, é um sistema simples, mas

eficiente, de coordenação modular. Ele garante a combinação das esteiras nas mais diversas situações (Figura 43).

Figura 42 - Sistema modular de uma casa tradicional japonesa

Sem escala.

Fonte: Ching (2002, p. 306).

Figura 43 - Diferentes combinações de esteiras na proporção 1/2

Sem escala.

Fonte: Ching (2007, p. 306).

Assim como se estabeleceu a diferença entre proporções estáticas e dinâmicas, é conveniente diferenciar autossimilaridade e comensurabilidade. Ainda que ambas sejam convenientes e relacionadas à coordenação dimensional, apenas a presença da comensurabilidade possibilita a repetição do módulo que determina a coordenação modular. Os conceitos podem ser coincidentes em alguns casos, mas não são equivalentes.

O sistema Modulo, de Le Corbusier (LE CORBUSIER, 1954), frequentemente relacionado à coordenação modular, exemplifica esse tipo de confusão.

Seu sistema pode ser descrito como uma série numérica que auxilia na escolha de dimensões integradas entre si, com o corpo e com a percepção humana. No Modulor, Le Corbusier propõe duas séries numéricas, que chamou de série vermelha e série azul, originadas respectivamente nas dimensões 113 cm (altura do umbigo) e 226 cm (altura do homem com um braço levantado). Os números dessa série aumentam ou decrescem quando multiplicados ou divididos pela constante áurea (1,618...). Disso e do fato de que as partes do corpo também guardam entre si relação com a constante áurea, decorre que várias medidas da série têm correspondência com dimensões do corpo humano (Figura 44).

Figura 44 – Correspondência entre o Modulor e o corpo humano

Sem escala.

Fonte: Le Corbusier (1954, p. 67).

Além disso, o feito de que os intervalos das séries mantêm as mesmas propriedades em qualquer escala e em sua relação com as subdivisões e com o todo (autossimilaridade) garante condições de arranjo privilegiadas, mesmo com diferentes tamanhos e proporções (LE CORBUSIER, 1954, p. 84). Essas possibilidades são ilustradas no diagrama da Figura 45, no qual Le Corbusier experimenta diferentes composições aplicando retângulos formados a partir da série dimensional proposta.

Figura 45 - Diferentes combinações geradas a partir de retângulos dimensionados conforme as séries do Modulor

Sem escala.

Fonte: Le Corbusier (1954, p. 91).

O Modulor compartilha com a coordenação modular os objetivos de associar um sistema de proporção esteticamente desejável, dimensões antropométricas e propriedades geométricas que possam contribuir para a compatibilidade de elementos industriais. Mas não pode ser considerado um sistema de coordenação modular porque os números da série não são resultantes da multiplicação ou da divisão de um módulo por números inteiros. Ainda que possa ser considerado um sistema de coordenação dimensional, falta-lhe a comensurabilidade que o tornaria modular. Por isso e também por propor padrões de dimensionamento completamente novos, acabou não servindo à industrialização da construção.

Historicamente, a produção manual e não seriada dos componentes da construção fazia mais fácil a variação de dimensões. Os formatos se fundamentavam nas proporções e não nas medidas. Ou seja, as medidas exatas dos componentes eram menos importantes; suas dimensões eram múltiplas de um módulo determinado a partir de referências antropométricas e/ou de elementos da construção (tijolos, colunas ou tatames, por exemplo). A Revolução Industrial alterou as formas de produção e, com isso, afetou os critérios de concepção dos espaços e das formas (ANDRADE, 2000, p. 43-44, 51).

A produção industrial padronizada tornou necessário fixar medidas para os componentes; o problema parece ser que, com isso, as construções geométricas e as proporções nos componentes e nos conjuntos por eles gerados foram relegadas

a segundo plano. Os requisitos da produção em série se tornaram a resposta para todas as perguntas, mesmo às que nada tinham que ver com o problema industrial.

Para Andrade (2000, p. 52), a introdução nos processos industriais de séries numéricas que permitem expressar sistemas de proporção conhecidos pode contribuir para que os componentes satisfaçam necessidades estéticas da arquitetura dentro de uma prática racional de produção. O sistema de proporção dinâmico, mais complexo, possui obstáculos claros à padronização de componentes industriais para produção em massa. Já o sistema estático, dada a comensurabilidade simples baseada em um módulo constante, é plenamente aplicável (ANDRADE, 2000, p. 46). Segundo afirma o autor, a coordenação modular poderia restabelecer a conexão entre dimensionamento e sistemas de proporção, mas essa abordagem raramente é estudada. Andrade recorre à Ehrenkrantz⁵³ ao explicar que o exame dos sistemas de proporção antigos revela que podem fazer o controle da variedade dimensional, oferecer compatibilidade e ainda proporcionar unidade visual ao projeto. Com isso, conclui o autor, é viável compatibilizar um sistema de proporção com o emprego de componentes padronizados, principalmente em se tratando da ligação entre coordenação modular e sistemas de proporção estáticos.

Infelizmente, mesmo assim, conforme observa Andrade (2000, p. 42-43, 46), na definição do dimensionamento de componentes industriais nem sempre são considerados os aspectos formais que se relacionam à composição arquitetônica. Com frequência a solução se concentra nas questões técnicas e funcionais do componente avaliado isoladamente, o que prejudica a composição dos elementos no edifício. Consequentemente, aplicar sistemas de proporção no dimensionamento do projeto de arquitetura acaba requerendo a fabricação de componentes sob medida ou adaptações feitas em canteiro. Tal prejuízo é estético, mas também funcional, porque algumas formas e números têm maior capacidade de se combinar do que outras e porque a adaptação dos componentes é contrária à racionalidade do método industrial.

⁵³ EHRENKRANTZ, E. D. **The Modular Number Pattern: Flexibility Through Standardisation**. Londres: Alec Tiranti, 1956.

4.2 ERGONOMIA E PERCEPÇÃO

Todos os elementos de um edifício são dotados de um tamanho que é fruto de uma escolha. Este é pré-determinado por um fabricante, especificado pelo projetista e/ou selecionado pelo usuário. O tamanho de cada elemento pode ser percebido relativamente ao tamanho de outros elementos em seu contexto, mas, em última instância, é sempre o corpo humano, em suas dimensões, proporções e movimentos, a referência da escala percebida (CHING, 2002, p. 314-316). Ching (2002, p. 316) explica:

(...) nossas dimensões variam de indivíduo a indivíduo não devendo ser utilizadas como um recurso absoluto de medida. Podemos, entretanto, aferir um espaço cuja largura é tal que podemos esticar os braços e tocar suas paredes. De forma semelhante, podemos julgar sua altura se pudermos esticar nossos braços e tocar o plano do teto acima. Uma vez que não podemos mais fazer essas coisas, devemos nos basear em indícios visuais e não táteis para termos um sentido da escala de um espaço. Para a obtenção desses indícios, podemos utilizar elementos que têm significado humano e cujas dimensões estão relacionadas às dimensões de nossa postura, ritmo, alcance ou controle. Elementos como uma mesa ou uma cadeira, os espelhos e pisos de uma escada, o peitoril de uma janela e o dintel sobre uma porta não só nos ajudam a julgar o tamanho de um espaço como também lhe conferem uma escala humana.

Abordagem correlata é adotada por Boueri Filho (1999) e Neufert (2004), segundo os quais só se obtém a escala correta de qualquer elemento quando ele é visto junto de um homem ou de uma imagem que represente suas dimensões.

A dimensão das partes do corpo é naturalmente conhecida e disponível para todos os humanos, em qualquer lugar, em qualquer cultura. É por isso que, segundo Crease (2013, p. 12), o corpo humano está na origem dos instrumentos de medida mais antigos. Unidades de comprimento adotadas a partir do corpo incluíram o dedo, a unha, a palma, a mão, o antebraço (também chamado de “vara ou cúbito”), o passo e até o fio de cabelo humano (uma fração do milímetro). Destes, Crease destaca a importância do pé, aproximadamente 30 centímetros, que se fez presente como unidade de medida em praticamente todas as civilizações.

Consoante, Neufert (2004, p. 27) aponta que as partes do corpo humano foram consideradas nos tempos antigos como fundamento para todas as unidades de medida:

Nós conhecemos os cânones do império faraônico, da era ptolemaica, dos gregos e romanos, o cânnon de Policleto, que durante muito tempo foi aceito como norma, as especificações de Alberti, Leonardo da Vinci, Michelangelo e dos homens medievais, assim como a mundialmente conhecida obra de Dürer. Nos trabalhos citados, o corpo humano era calculado segundo comprimento da cabeça, rosto e pés, o que então, em tempos posteriores, foi sendo subdividido e relacionado entre si, de tal forma que passaram a ser referenciais de medidas para a vida em geral (NEUFERT, 2004, p. 28).

O estabelecimento do metro durante a Revolução Francesa, inicialmente definido como 10^{-7} de um quarto do meridiano da Terra, foi o responsável pela alteração completa dessa realidade. É interessante ter em conta que a determinação foi parte de um processo amplo e longo, profundamente associado ao Iluminismo. O pensamento científico, social e filosófico, vinha se modificando drasticamente desde o fim da Idade Média; os iluministas procuravam um sistema de medição que fosse dotado de precisão e uniformidade, mas que também representasse seus “ideais universais”, afastados da subjetividade da experiência e dos propósitos humanos (CREASE, 2013, p. 62-89).

Em 1690, o filósofo britânico John Locke expressou as implicações dessa ideia de mensuração. Um comprimento, escreveu, é apenas uma noção que temos de certa quantidade de espaço. Uma vez que nós humanos tenhamos essa ideia, podemos aplicar esses comprimentos para medir corpos, independentemente de seu tipo ou tamanho, somando um segmento específico a outro. As medidas não têm necessariamente conexão com partes ou propósitos humanos; são determinações abstratas por meio de ideias abstratas. Medidas não deveriam surgir de oficinas e das tarefas ali executadas, mas deveriam ser produzidas pela mente humana. (CREASE, 2013, p. 73-74)

A criação do Sistema Métrico Decimal e o posterior depósito de dois padrões de platina representando o metro e o quilograma, em 1799, em Paris, são considerados a primeira etapa do desenvolvimento do atual Sistema Internacional de Unidades (SI) (INMETRO, 2012, p. 21). O sistema tem por princípio a evolução contínua para refletir o desenvolvimento das possibilidades e demandas da ciência. A definição do metro baseada no meridiano terrestre foi, ao longo do tempo, aprimorada, assim como foram as definições das outras seis unidades de base que hoje compõem o SI. A definição atual do metro é “o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ de segundo” (INMETRO, 2012, p. 24).

As definições de unidade de medida do SI buscam uma constante física que possa ser verificada por meio da aplicação de um método com validade em todo o mundo. Essa definição pode ser útil para diversos campos do conhecimento humano e para segmentos industriais, mas parece não ter o mesmo sentido quando usada para o dimensionamento do espaço construído e habitado por pessoas. Se por um lado as medidas decimétricas são favoráveis às operações matemáticas, as divisões fracionárias são empiricamente obtidas: “é [mais] fácil especificar a olho metade ou o dobro de certa quantidade, e mais uma vez a metade ou o dobro” (CREASE, p. 74). Esse aspecto intuitivo e visual é especialmente reforçado pela possibilidade de uso de referências dimensionais do próprio corpo no sistema pé-polegada. Ademais, sobre ele, deve-se esclarecer que não há nada de inerentemente não científico em usar unidades de medidas de origem antropométrica, contanto que suas referências sejam acessíveis a todos, uniformes e adequadas aos fins aplicados. Na realidade, para a construção civil, quando medidas no sistema pé-polegada acabam convertidas por aproximação ao metro, a situação gerada é justamente a oposta: a medida torna-se desprovida tanto de precisão, quanto de adequação (adequação ao fim que é o espaço humano).

A esse respeito, Le Corbusier (1954, p. 20) coloca:

In the matter of building houses – or huts or temples – meant for men, the metre seems to have introduced a strange and unreal method of measurement which, if looked at closely, might well be found to be responsible for the dislocation and perversion of architecture. ‘Dislocation’ is quite a good word for it: it is dislocated in relation to its object, which is to contain men.

Boueri Filho (1999, p. 9) também aponta, em crítica, que o “sistema métrico” decimal “relacionou-se com o homem apenas na utilização de 10 divisões para 10 dedos”. O autor observa que o metro é tão afastado da experiência humana que ainda se usam referências corporais para comunicar a noção de dimensão. De fato, não é difícil identificar expressões – como o passo, o palmo e a polegada –, que continuam sendo usadas por essa razão.

As referências bibliográficas consultadas concordam entre si ao afirmar que o abandono do sistema pé-polegada significou a perda da relação intuitiva entre homem e espaço e foi prejudicial para a arquitetura.

Se por um lado as questões metroológicas de fato nunca estiveram nas mãos do cidadão médio, a compreensão geralmente estava. Agora, ao passo que o uso do SI em contextos diários possa ser fácil, a compreensão de seus fundamentos não é, tornando-se complexa demais para o entendimento de todos exceto cientistas. (CREASE, 2013, p. 228-229)

A Metrologia, enquanto ciência dos pesos e medidas, deixa portanto uma grande lacuna no estudo do espaço humano. Fica a cargo de outras ciências a exploração das questões qualitativas do dimensionamento; é nesse sentido que a Ergonomia e a Metrosografia mostram-se essenciais.

O conhecimento das dimensões humanas, da mecânica de seus movimentos e de suas atividades no espaço é imprescindível para a melhor relação entre o edifício e aquele que fará uso do espaço edificado (BOUERI FILHO, 1999, p. 9). Enquanto a antropometria trata do tamanho e das proporções do corpo humano, a ergonomia se preocupa com as necessidades fisiológicas e psicológicas do homem em atividade. Ela se relaciona à antropometria porque as dimensões e proporções do corpo afetam o uso, o movimento e o alcance de objetos e espaços. Entretanto, as dimensões funcionais estudadas pela ergonomia variam de acordo com outros fatores como as atividades executadas e a situação social (CHING, 2002, p. 310, 311).

No domínio da ergonomia, Okamoto (1996, p. 120) chama de “espaço cinestésico” o espaço mínimo de movimentação necessário em torno dos objetos ou equipamentos para que seu uso aconteça de forma segura, confortável e fluente. O autor cita o arquiteto Enrico Griffini ao apontar que o espaço cinestésico viabiliza o uso compacto, mas confortável, dos equipamentos (GRIFFINI, 1950⁵⁴ apud OKAMOTO, 1996, p. 122), defendendo, assim, que a racionalização do espaço funcional, principalmente nas habitações populares onde o dimensionamento mínimo prevalece, seja acompanhada da avaliação do espaço cinestésico. “Uma sala de estar com 3,00 m ou 2,70 m ou 2,85 m de largura, tem a dimensão de largura ideal? A escolha é arbitrária? Somente os estudos do espaço cinestésico permitem considerar os mínimos dos espaços necessários para que continue a existir um espaço funcional e habitável” (OKAMOTO, 1996, p. 122).

⁵⁴ GRIFFINI, E. A. **Construcción racional de la casa**. Barcelona: Hoepli, 1950.

Além disso, assim como faz Okamoto (1996, p. 121), é preciso considerar que cultura, costume e tempo influenciam o espaço cinestésico. Movimentos, atividades, amplitude de gestos, espaços individual, social e público, distâncias entre os objetos, todos são aspectos tão variáveis quanto as dimensões do próprio homem. Por isso, a ergonomia, no âmbito do espaço cinestésico, não é capaz de encerrar todos os aspectos humanos do dimensionamento. É necessária uma abordagem integrada que inclua aspectos ainda mais variáveis e subjetivos.

A esse respeito, Crease (2013, p. 24) traz o conceito de Metrosografia, que define como o “estudo do significado cultural e espiritual das medidas e seus padrões – tais como o vínculo entre as proporções do Homem Vitruviano e a ideia grega de beleza”. Ele afirma que a mensuração possui importantes elementos simbólicos e que cada época e cultura possuem um entendimento subjacente do que mede, de como mede e de porquê mede. Esta compreensão compartilhada é muitas vezes inconsciente, sobretudo porque a tendência natural é assumir que há uma evolução que está além da metrosografia e que a realidade experimentada é objetiva (CREASE, 2013, p. 212)

As percepções decorrentes da realidade externa, acrescidas de processos internos, intervêm e conduzem o comportamento humano (OKAMOTO, 1996, p. 10). Okamoto (1996, p. 10) investiga a maneira como o homem recebe e apreende a realidade fazendo algumas perguntas:

E a realidade? Será que a percebemos de maneira a interpretá-la corretamente? Será que todos têm dela a mesma interpretação? E como interpretar o espaço arquitetônico? [...] Quais seriam, enfim as motivações subjacentes do comportamento ambiental, os filtros que selecionam os estímulos, as condicionantes que restringem ou direcionam o interesse intervindo nas suas tendências comportamentais? E os estímulos internos do homem não contam? (OKAMOTO, 1996, p. 75)

O mesmo autor explica que a percepção ocorre a partir da realidade por meio dos sentidos (que são mais de quinze, de acordo com sua classificação) com a participação de elementos subjetivos constituídos por filtros e processos mentais (OKAMOTO, 1996, p. 75).

Construímos o meio ambiente utilizando valores objetivos como forma, função, cor, textura, aeração, temperatura ambiental, iluminação, sonoridade, o significante e a sua simbologia. Cada um desses valores objetivos resulta no espaço dimensionado, funcional, sonoro, colorido, significante, e a somatória destes resulta no espaço da Comunicação e da Arquitetura.

O homem recebe os estímulos advindos desses espaços através de modalidades de diferentes formas de energia que estimulam nossos receptores especializados.

Através destes, sentimos o ambiente e os fatos e eventos que nos chamam a atenção ou que nós selecionamos como de interesse, quando então temos a percepção da realidade de forma consciente; já a maioria dos estímulos entra para o nosso inconsciente, onde estes formam o contexto ambiental.

[...] Os receptores sensoriais mais conhecidos e mencionados são os extorreceptores, mas a compreensão da realidade externa se completa com outros sentidos internos e mentais, [...] dentro de uma visão ampliada do processo perceptivo (OKAMOTO, 1996, p. 79-81).

Okamoto (1996) cita Bateson⁵⁵ (1986) ao indagar qual seria o padrão que liga o homem ao seu ambiente e ao contexto social. A resposta, segundo ele, estaria na sequência da reação do homem frente à realidade. Assim, a começar pela percepção, constrói-se a realidade pessoal, social, cultural e, a seguir, reage-se pela sensação diante dessa realidade construída (OKAMOTO, 1996, p. 15-16). “Nós nos movemos através do espaço e do tempo; nós experimentamos nosso entorno através de nossos corpos, pela nossa simples presença impomos uma estrutura no espaço quer estejamos cientes disso ou não” (PEARSON e RICHARDS, 1997, p. 10). É interessante observar que, nesse sentido, tanto Okamoto (1996, p. 15-16) quanto Pearson e Richards (1997, p. 2-3) reproduzem Winston Churchill: “em primeiro lugar nós modelamos nossos edifícios e depois por eles somos modelados”. A relação é essencialmente dinâmica e reflexiva; é também sutil, complexa e de difícil previsão (PEARSON e RICHARDS, 1997, p. 2-3). O espaço é mais do que uma arena em que a vida se desdobra, é ao mesmo tempo agente e reflexo das relações sociais.

Para Bertalanffy (1975, p. 278), o comportamento natural abrange inúmeras atividades além do esquema estímulo-resposta, “desde a exploração, o jogo e os rituais [...] até os objetivos econômicos, intelectuais, estéticos, religiosos, etc”. A atividade autônoma é, segundo ele, a forma mais primitiva do comportamento. Esse caráter espontâneo e imprevisível do homem tem reflexos significativos no uso do espaço, mas com frequência é ignorado. Análises puramente funcionalistas do dimensionamento não consideram esse aspecto e, principalmente no que se refere à

⁵⁵ BATESON, Gregory. **Mente e natureza**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1986.

determinação de ambientes mínimos, acabam por cercear o comportamento espontâneo e humanização do espaço.

Okamoto (1996, p. 188) estabelece uma crítica às políticas habitacionais que, com vista a atender às necessidades prementes de moradia, optam pelo critério da quantidade sobre a qualidade. Uma das questões-chave apontadas pelo autor nesse sentido é justamente a diminuição das áreas construídas em nome dos custos de construção. Em relação a isso, considera o autor, “dever-se-ia constantemente perguntar qual o padrão que liga o homem ao seu local de moradia, de trabalho, de lazer, de convivências sociais, [...] para que haja um desenvolvimento vital, harmonioso e equilibrado” (OKAMOTO, 1996, p. 188-189).

Essa crítica pode ser relacionada à análise de Habraken (2000, p. 19, 35), para quem a arquitetura habitacional é essencialmente um tema social e está sujeita a contextos culturais e temporais. Segundo ele, as possibilidades tecnológicas fazem parte da solução, mas têm menos importância do que se tende a acreditar. As pessoas querem reconhecer a si mesmas no espaço e serem reconhecidas através dele. É por isso, afirma, que as modificações feitas pelos próprios residentes em geral podem ser explicadas por sua necessidade de identificação com o espaço e não por razões funcionais.

Tal qual, Okamoto (OKAMOTO, 1996, p. 12) é contrário ao que chama de “paradigma cartesiano-newtoniano ocidental” que, segundo ele, enfatiza a funcionalidade e a técnica sobre os aspectos simbólico e afetivo do espaço. Segundo ele, a cultura ocidental “interpreta a realidade objetiva de modo material e fragmentado”, mas deveria atuar holisticamente, já que as relações no contexto social e urbano são interdependentes (OKAMOTO, 1996, p. 13). Sua crítica está inserida no problema mais amplo sobre o qual se debruça justamente Bertalanffy (1975) em sua *Teoria geral dos sistemas*. Para Bertalanffy (1975, p. 274), o conceito dominante do “homem-robô”, como “propaganda comercial, econômica e política”, é ao mesmo tempo expressão e força motriz de uma sociedade de massa industrializada.

O mundo moderno não é destituído de metrosofia, ou seja, o projeto de desassociar a mensuração da realidade humana carrega um significado cultural e social

importante, que afeta a maneira como a percepção e as relações são estabelecidas com esse mundo (CREASE, 2013, p. 213, 216, 228-231). A precisão das técnicas de medição e das unidades de medida foram fundamentais para o avanço da ciência desde Galileu, Harvey e Kepler. Por isso, a ideia de que a medição nos oferece conhecimento e domínio sobre o mundo está profundamente enraizada no pensamento ocidental moderno. No entanto, Crease faz referência à Heidegger⁵⁶ ao falar que “o próprio sucesso da mensuração pode nos dar a impressão de que ela é o único meio de obter um melhor domínio sobre o mundo” e que “não existe outro meio de encontrar significado nele” (CREASE, 2013, p. 231).

Muitos dos problemas relacionados ao dimensionamento no mundo moderno têm a ver com a confiança excessiva na mensuração para tratar de coisas que na verdade são imensuráveis (CREASE, 2013, p. 26), como a qualidade, a ordem, a beleza. Diante disso, é sempre pertinente perguntar-se o que, de fato, se busca verificar a partir das medições feitas e quais são as qualidades que se espera obter por meio da definição de medidas. Em suma, a relação moderna com a mensuração e o dimensionamento “requer que articulemos com mais cuidado o que as nossas medições não fornecem” (CREASE, 2013, p. 259).

4.3 QUALIDADE

Qualidade, conforme a definição adotada por Andrade (2000, p. 82-83), significa a capacidade de um produto de atender ou superar as expectativas dos usuários. Igualmente, para Kenchian (2011, p. 38), os “requisitos para a qualidade essencialmente devem refletir por completo as necessidades explícitas e implícitas do cliente ou usuário”.

Segundo a ISO-8402/94, a qualidade é resultado de uma totalidade de fatores presentes no processo e no produto que lhe conferem a capacidade de satisfazer as necessidades dos clientes. Há nessa lógica três ideias principais envolvidas:

CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO > DESEMPENHO DO PRODUTO > SATISFAÇÃO DO CLIENTE

⁵⁶ HEIDEGGER, Martin. The Question Concerning Technology. In: KRELL, David (org.). **Basic Writings**. Nova York: HarperCollins, 1993.

As características do processo afetam o desempenho do produto que, por sua vez, determina a satisfação do cliente. Os conceitos são interligados, mas, em última instância, a qualidade é um julgamento do cliente feito a partir de sua percepção do produto e do processo. A satisfação do cliente inclui, mas não está centrada na conformidade às especificações.

A coordenação modular, sob a ótica da qualidade, tem o espaço como fim e a construção como meio. Conforme tal concepção, os fins e os meios, ainda que relacionados, são distintos (ANDRADE, 2000, p. 175). Não se deve confundir a racionalização ou a padronização dos meios de produção com a qualidade, já que a primeira pode, ou não, resultar na segunda. “Para obter a qualidade do projeto (de arquitetura), o projetista deve servir-se do uso da técnica e da tecnologia para qualificar os espaços que produz, e não o contrário” (ANDRADE, 2000, p. 91). Tal clareza é importante porque a coordenação modular é com frequência associada a algumas soluções, sejam de dimensionamento, sejam de técnica construtiva que podem comprometer o resultado oferecido para o usuário.

Desempenho e qualidade estão diretamente relacionados. Desempenho é o comportamento de um produto em uso. Na construção, o desempenho é definido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. É verificado pelo atendimento aos requisitos de desempenho – que são os atributos qualitativos que a edificação e seus sistemas devem possuir a fim de satisfazer as necessidades do usuário e responder às condições impostas pelo ambiente e pela ocupação – e pelos critérios de desempenho que são as especificações quantitativas (mensuráveis) desses requisitos (ABNT, 2013b).

A NBR 15575 (ABNT, 2013b) é a norma nacional que trata do desempenho para edifícios habitacionais. De acordo com esta norma, os requisitos de desempenho são de **segurança** – segurança estrutural, segurança contra o fogo e segurança no uso e na operação; de **habitabilidade** – estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico; e de **sustentabilidade** – durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental. Os requisitos indicam que a maioria das exigências do usuário está atrelada às

condicionantes do projeto, o que pressupõe que melhorias na etapa de projeto fundamentais são para a qualidade da edificação (ANDRADE, 2000, p. 89).

A coordenação modular pode contribuir para o processo de projeto à medida que auxilia na implantação de um processo lógico de decisões. A sistematização e a replicabilidade das soluções permite a definição e a verificação de **procedimentos, parâmetros e padrões** para:

- a) dimensionamento dos ambientes e de partes da construção conforme condicionantes estéticos, funcionais e estruturais;
- b) fabricação, locação e instalação de componentes;
- c) distribuição das instalações prediais;
- d) definição de técnicas de execução e detalhes construtivos;
- e) coordenação entre diferentes disciplinas envolvidas no projeto e na construção (ANDRADE, 2000, p. 99-100; 106).

Esses padrões facilitam, por exemplo, a criação de *check-lists* de definições de projeto, cronogramas, mapa de acompanhamento, diagramas de procedimentos (ANDRADE, 2000, p. 173-174).

Ainda, segundo Andrade (2000, p. 173-174), uma importante contribuição da coordenação modular para o atendimento dos requisitos de desempenho é resultado da componentização da construção a que está frequentemente associada.

A produção de produtos padronizados, em unidades fabris, tem como pressuposto a repetição sistêmica, o que, em tese, tende a resultar na melhoria de qualidade desses produtos. Ao mesmo tempo, é mais fácil estabelecer o controle dos materiais e componentes da construção civil, das não conformidades com as normas técnicas, através de mecanismos de comprovação da qualidade do componente. (ANDRADE, 2000, p. 104)

A aplicação de componentes industriais pode contribuir para um melhor desempenho não somente devido ao controle de qualidade dos componentes individuais feitos na indústria, “mas sobretudo por melhorar o desempenho global do edifício, que será montado segundo as solicitações de cada componente e respectiva junta, sem incorrer em soluções improvisadas” (ANDRADE, 2000, p. 104). Nesse sentido, a ausência de recortes e adaptações posteriores no componente

industrial é uma vantagem importante advinda da coordenação modular (ANDRADE, 2000, p. 73), desde que as conexões entre componentes estejam bem definidas e coordenadas (CUPERUS, 2001).

Não é aconselhável, entretanto, superestimar o efeito da coordenação modular, assumindo que esta contribua sempre para melhorar as condições de exposição da edificação⁵⁷. Quando adotados sistemas destinados à construção em massa, os processos (erros e acertos) se repetem, assumindo proporções significativas. A reprodução de soluções e componentes em larga escala carrega o ônus de reproduzir também insucessos e, portanto, quando se trata de desenvolver soluções padronizadas, uma deficiência pode tornar-se um problema crônico. A esse respeito é possível, por exemplo, retomar Lucini (2001, p. 22), que explica que a precariedade de soluções tecnológicas adotadas por alguns sistemas racionalizados introduzidos na década de 1970 no Brasil relacionou-os pejorativamente a construções de baixa qualidade. Segundo Pereira (2005, p. 14), a produção nacional na construção civil é caracterizada pela falta de controle sobre os processos, o que afeta negativamente a produtividade e a qualidade.

O controle de qualidade sobre os componentes industriais não garante o desempenho do conjunto do edifício na resistência às condições físicas impostas pelo ambiente. A locação dos componentes de forma insatisfatória ou a utilização de juntas inapropriadas poderão comprometer a eficiência desses componentes. Juntas mal detalhadas resultam em problemas de vedação. Sua ausência torna o edifício incapaz de absorver as deformações e movimentações naturais levam a rupturas. Kapp, Baltazar e Marcandier (2009, Apêndice 2, p. 14) destacam o problema que chamam de “cultura da junta zero”: a crença comum no Brasil de que, quanto menores as tolerâncias especificadas e as juntas obtidas em canteiro, mais bem executada a obra parece.

Porém, dada à variedade dos requisitos de habitabilidade do desempenho, também não é possível afirmar que a solução técnica da união dos componentes seja o único desafio à qualidade trazido pela industrialização da construção. A componentização,

⁵⁷ As condições de exposição são o conjunto de ações atuantes sobre a edificação, incluindo cargas gravitacionais, ações externas e ações resultantes da ocupação.

na mesma proporção que transfere para a indústria etapas do processo de construção, confia-lhe parte das decisões sobre o dimensionamento. Quando isso acontece, passam a imperar sobre o dimensionamento dos componentes atributos que não são necessariamente os mais desejáveis sob o ponto de vista da qualidade da edificação.

4.3.1 Dimensionamento de esquadrias

O dimensionamento de esquadrias é um exemplo desse problema, facilmente identificável no caso dos edifícios habitacionais. Verificou-se na seção 3.3.3 Esquadrias que os maiores padrões para esquadrias de alumínio têm medidas 120 x 120 cm, 120 x 150 cm e 120 x 200 cm nos modelos de correr de 3 e 6 folhas com veneziana, e 120 x 120 cm e 120 x 150 cm nos modelos com veneziana de enrolar integrada (ANDRADE, 2000, p. 145; LUCINI, 2001; ABDI, 2009, p. 48; AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010e, p. 26, CIRQUEIRA, 2015, p. 84). Na prática, é comum a aplicação dos tamanhos 120 x 120 cm e 150 x 120 cm com veneziana de correr, apesar da desvantagem na perda de área efetiva de iluminação. Essa escolha dos padrões menores pode ser observada em pesquisas como a de Cirqueira (2015, p. 105), Zechmeister (2005, p. 119) ou Lacerda (2005, p. 110-114), que trazem plantas de projetos residenciais coordenados modularmente aplicando a esquadrias de 120 x 120 cm e 120 x 150 cm.

Ao tratar da adaptação das medidas usuais de esquadrias aos princípios da coordenação modular, as referências consultadas (SOARES, 2008, p. 83; LUCINI, 2001, p. 61; ABDI, 2009; AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010e) concordam que esquadrias que hoje têm medida **nominais** decimétricas devem ser reduzidas para que passem a ter medidas **modulares** decimétricas, pois os ajustes e tolerâncias devem ser descontados do espaço de coordenação da esquadria e não da vedação. Isto significa que as esquadrias teriam largura e altura efetivamente 5 cm (SOARES, 2008, p. 83; LUCINI, 2001, p. 61) ou 6 cm (ABDI, 2009, p. 47) menores do que as medidas modulares utilizadas como referência. Mas, a partir de Lucini (2001, p. 68), sabe-se que, na realidade, o vão de iluminação e ventilação efetivo da esquadria será ainda menor do que a medida nominal, já que também devem ser descontadas as espessuras do marco e do contramarco da esquadria. Conforme o autor, o vão de

iluminação/ventilação teria medidas 5 cm menores que o vão nominal e 10 cm menores do que o vão modular.

Algumas publicações fazem considerações sobre esta questão. Andrade (2000, p. 144) aponta que, para as medidas de janelas e portas, devem-se observar tanto requisitos dos componentes (aproveitamento dos materiais empregados, resistência, peso, custo etc.) quanto os requisitos do projeto arquitetônico (iluminação, ventilação, vão livre para circulação, estética etc.). A ABDI (2000, p. 51) recomenda a revisão das práticas “para propiciar melhores condições de ventilação e visibilidade”, além do atendimento às necessidades de padronização. No entanto, nenhuma das referências recentes consultadas propõe outros tamanhos ou formatos mais adequados para atender aos requisitos de iluminação, ventilação e também estética.

Parece haver sempre um subtexto que reproduz as medidas praticadas. O problema agrava-se porque a preponderância no mercado de esquadrias subdimensionadas conduz à prática aceita de ignorar a existência da veneziana nos cálculos de iluminação, o que acaba “oficializando” um padrão inadequado. Entende-se que os estudos que empregam os padrões subdimensionados de mercado e também os que recomendam seu ajuste para medidas modulares decimétricas acabam, mesmo que não intencionalmente, validando esta prática. Ou seja, a padronização de esquadrias, tal como vem sendo estabelecida, é contrária à qualidade. A teoria da coordenação modular, ao tratar do dimensionamento de componentes, não pode reforçar padrões que não ofereçam resultados desejáveis para a arquitetura.

A Figura 46 demonstra que uma esquadria de 1,50 x 1,20 m de correr com veneziana tem área efetiva de iluminação/ventilação de 0,77 m². Conforme exigências do Código de Obras do município de São Paulo (SÃO PAULO, 1992, p. 52), essa área efetiva de iluminação atende a dormitórios com área máxima de 5,13 m²⁵⁸. Para demonstrar o problema, a Figura 47 ilustra uma possível ocupação para um dormitório de 5,20 m², ou seja, maior do que o atendido pela esquadria de 1,50 x 1,20 m.

⁵⁸ Considerou-se para este cálculo a exigência de 15% de insolação e 7,5% de ventilação em relação à área de ambiente de permanência prolongada (Grupos A e B).

Technical drawing of a window assembly showing dimensions and area calculation.

Dimensions:

- Top: 151,0 vão nominal da alvenaria; 150,0 vão modular; 145,0 dimensão nominal da esquadria
- Right: 0,5; 2,5; 70,0 vão iluminação/ventilação; 2,5; 0,5
- Left: 121,0 vão nominal da alvenaria; 120,0 vão modular; 115,0 dimensão nominal da esquadria; 110,0 vão iluminação/ventilação
- Bottom: 0,5; 2,5; 2,5

Area Calculation:

Área de iluminação/ventilação = 0,77m²

Figura 47 - Exemplo de ocupação para um dormitório de 5,20 m²

174

Fica claro que um dormitório com tais dimensões, incapaz de acomodar mais de uma pessoa, constitui um espaço mínimo que não pode basear o padrão dimensional da indústria. Percebe-se então que o subdimensionamento das esquadrias e a miniaturização dos espaços se reforçam mutuamente.

4.3.2 Miniaturização dos espaços

Com efeito, a miniaturização dos espaços é outro aspecto do dimensionamento a ser analisado. Kenchian (2011, p. 15-16) relata que a grande demanda por moradias associada à busca por retornos financeiros tem levado o setor da construção civil a realizar ações com o intuito de reduzir custos na construção. Assim, observa o autor, há uma tendência problemática de reduzir os espaços das habitações com uma pretensa racionalização e otimização. Visto que a coordenação modular é geralmente abordada nesse cenário da arquitetura habitacional, predomina um modelo de investigação em que a solução fica completamente restrita pela área exata que é uma determinação prévia do investidor, do agente de financiamento ou da entidade governamental.

Mascaró (1998, p. 35) é um dos autores que demonstra que a crença absoluta na área como fator determinante para o custo não é correta e que, com frequência, a tentativa de reduzir os custos incorre em diminuição de qualidade mais significativa do que a economia obtida. Miniaturizar os espaços é uma alternativa ineficaz porque os custos diminuem menos do que a metade da área reduzida se a compartimentação do projeto permanece igual (MASCARÓ, 1998, p. 53).

De acordo com o autor, essa afirmação se baseia na composição de custos: “os planos horizontais representam aproximadamente 25% do custo total do edifício, os verticais 45%, as instalações 25% e o canteiro de obras 5%”; sendo que dois terços do custo dos planos horizontais são formados pelo sistema estrutural (MASCARÓ, 1998, p. 30). Quando a área dos planos horizontais é reduzida, a área dos planos verticais não se reduz na mesma proporção e as instalações quase não se alteram (MASCARÓ, 1998, p. 32).

Na prática do projeto, frequentemente atua-se sobre a planta baixa, analisando-se a disposição de áreas no pavimento, mas ignora-se que o total das superfícies

(horizontais e verticais) varia muito em função da compartimentação e das proporções adotadas. O Quadro 27 mostra como variações na largura e no comprimento de um espaço afetam de formas distintas a área do pavimento (A) e o total das superfícies construídas (S). Como exemplo, observa-se que, para a mesma área (10,8 m²), estão associadas diferentes superfícies totais (63,72 m², 68,58 m² e 76,68 m²). A primeira é 17% menor do que a última apenas em decorrência da escolha de uma proporção menos alongada para o espaço.

Quadro 27 - Efeitos em área de variações na proporção do espaço

		COMPRIMENTO (m)											
		6		6,6		7,2		7,8		8,4		9	
		A (m²)	S (m²)	A (m²)	S (m²)	A (m²)	S (m²)	A (m²)	S (m²)	A (m²)	S (m²)	A (m²)	S (m²)
LARGURA (m)	1,2	7,2	53,28	7,92	57,96	8,64	62,64	9,36	67,32	10,08	72	10,8	76,68
	1,3	7,8	55,02	8,58	59,82	9,36	64,62	10,14	69,42	10,92	74,22	11,7	79,02
	1,4	8,4	56,76	9,24	61,68	10,08	66,6	10,92	71,52	11,76	76,44	12,6	81,36
	1,5	9	58,5	9,9	63,54	10,8	68,58	11,7	73,62	12,6	78,66	13,5	83,7
	1,6	9,6	60,24	10,56	65,4	11,52	70,56	12,48	75,72	13,44	80,88	14,4	86,04
	1,7	10,2	61,98	11,22	67,26	12,24	72,54	13,26	77,82	14,28	83,1	15,3	88,38
	1,8	10,8	63,72	11,88	69,12	12,96	74,52	14,04	79,92	15,12	85,32	16,2	90,72

* Altura de pé-direito considerada para cálculo = 2,70m.

A = Área do pavimento em m²

S = Soma das superfícies horizontais e verticais em m²

Fonte: elaboração própria.

Para a economia, reduzir a compartimentação do espaço é uma alternativa à redução de área, porque diminui a incidência dos planos verticais. Outra estratégia é buscar índices ótimos de compacidade⁵⁹, controlando a proporção de superfícies externas em relação à área interna, porque os planos verticais externos podem custar de 3 a 5 vezes mais do que os internos (MASCARÓ, 1998, p. 27). Matematicamente, quanto mais próximo o índice de compacidade for de 100%,

⁵⁹ O índice de compacidade é definido por Mascaró (1998, p. 38) como “a relação percentual que existe entre o perímetro de um círculo de igual área do projeto e o perímetro das paredes exteriores do projeto”. A expressão matemática usada para expressá-la é:

$$Ic = Pc/Pp \times 100, \text{ onde}$$

Ic: índice de compacidade

Pc: perímetro de um círculo de área igual à área do projeto

Pp: perímetro das paredes exteriores, em planta do projeto

menores serão os custos de construção, de uso e manutenção (MASCARÓ, 1998, p. 38). Contudo, uma relação mal resolvida entre o interior e o exterior do edifício resultará em prejuízos para funcionalidade, conforto ambiental, eficiência energética, entre outros, podendo também ocasionar maiores custos de operação. Conforme demonstrado no Gráfico 1, a redução de custos não acontece de forma linear à medida que o índice de compacidade aumenta.

Gráfico 1 - Variação do custo dos edifícios em função do índice de compacidade

Fonte: MASCARÓ, 1998, p. 39.

Na faixa de valores altos (superiores a 80%), reduções no índice levam a pouca ou nenhuma economia e podem significar importantes ganhos em habitabilidade. Ao contrário, valores do índice de compacidade inferiores a 30% resultam em grandes incrementos de custo, possivelmente sem ganhos em habitabilidade (MASCARÓ, 1998, p. 42).

Os espaços de circulação, por terem índice de compacidade normalmente mais baixos, têm custo, por superfície horizontal, de 20% a 30% maior que espaços habitáveis (MASCARÓ, 1998, p. 43). Ou seja, reduzir espaços de circulação é mais eficaz do que reduzir espaços habitáveis. No entanto, porque nesse caso a diferença está justamente na incidência de planos verticais, é mais efetivo alterar a proporção da planta, reduzindo o comprimento dos espaços e não a largura. Para tanto, pode

ser necessário repensar o partido arquitetônico (MASCARÓ, 1998, p. 113), mas pequenas alterações no comprimento terão um efeito maior sobre a soma das superfícies do que reduções na largura. Tal observação é exemplificada na Figura 48, a seguir.

Figura 48 - Efeitos da redução de área em espaços de circulação

Fonte: elaboração própria.

A largura das áreas de circulação é um aspecto de interesse para a coordenação modular. Com frequência, a escolha do multimódulo adotado em projeto encontra obstáculo na determinação exata das larguras livres de circulação. Existe uma preocupação em respeitar as medidas mínimas exigidas pelas normas e legislação incidentes e, ao mesmo tempo, não incorrer em “desperdício” de área.

Por exemplo, uma faixa de circulação que ocupe 12 M na malha de referência e tenha componentes de vedação de espessura 15 cm locados simetricamente sobre essa malha resultará em largura livre de circulação insuficiente com 105 cm. O posicionamento lateral dos componentes sobre a malha garantirá a largura mínima de passagem (120 cm), mas, dependendo do projeto, poderá comprometer a regularidade da solução geral. Todavia, conforme foi demonstrado na Figura 48, é possível que a solução de projeto adote circulações mais largas, capazes de acomodar as variadas espessuras dos diversos componentes do edifício, sem que isso traga impacto significativo no custo final.

A relação da área em planta com o custo não é direta e tampouco é a única relação possível de ser extraída de um projeto. Na verdade, conforme explica Mascaró (1998, p. 54), “Na medida que o projeto é mais limpo, melhor organizado, com menos recortes, a densidade de planos verticais tende a diminuir” e isso também afeta o custo. “O problema não é só o fator metros quadrados construídos mas também, fundamentalmente, a forma como são desenhadas essas superfícies, ou seja, o tradicional problema de quantidade versus a qualidade do projeto” (MASCARÓ, 1998, p. 32). Para Lucini (2001), a simplificação resultante da repetição de especificações, técnicas e detalhes construtivos pode conduzir a ganhos em controle eficiente de custos e de produção. Em concordância, Andrade (2000, p. 107, 173-174) afirma que, na medida em que a coordenação modular contribui para a continuidade, a simplificação e a repetição de operações, a produtividade atingida pode ter influência positiva sobre os custos.

Deve-se considerar, como faz Mascaró (1998, p. 51), que um projeto econômico necessita de espaços adequados em qualidade e quantidade. Para o autor, áreas excedentes constituem um desperdício, tanto quanto espaços inadequados para sua função. Não obstante, a definição prévia do que constitui um espaço excedente e mesmo de como será feito o uso do espaço é complexa, por vezes, impossível.

Kenchian (2011, p. 17) cita Deilmann, Kirschenmann e Pfeiffer⁶⁰ ao lembrar do desafio que a arquitetura enfrenta ao buscar soluções que sejam capazes de atender às desconhecidas necessidades do indivíduo, da família e da sociedade que

⁶⁰ DEILMANN, H.; KIRSCHENMANN, J. C.; PFEIFFER, H. **El habitat**. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.

se transformam ao longo do tempo. Retomando a investigação estabelecida na seção anterior, devem também ser consideradas a percepção individual, as interações possíveis e o comportamento espontâneo. Portanto, não é provável que um projeto acerte com exatidão os espaços mínimos necessários para as diferentes atividades exercidas durante toda a vida do edifício.

4.3.3 Flexibilidade

Para que um projeto permaneça adequado, deverá haver possibilidade de acomodação de mudanças. Consequentemente, o dimensionamento se entrelaça com a flexibilidade da solução adotada na organização da planta e na técnica construtiva.

Dada uma atividade prevista, haverá um espaço crítico (determinado por uma profundidade e uma largura características) que é o menor espaço capaz de acomodar o mobiliário e os equipamentos requeridos, assim como as necessidades de espaço cinestésico (envoltória livre) associadas a eles (OKAMOTO, 1996, p. 120; HABRAKEN, 2000, p. 77, 80). O espaço crítico, com frequência, permite uma única solução e representa uma situação limite. Como lógica geral, partindo do espaço crítico, quanto mais justo seja o dimensionamento que define a compartimentação do espaço, mais flexível precisará ser a solução desta compartimentação. Espaços maiores, porque são mais capazes de acomodar usos imprevistos, requerem compartimentação menos flexível.

Conforme visto, a coordenação modular pode, através da racionalização, equacionar custos, viabilizando (ao menos em teoria) espaços mais amplos. Tanto quanto, pode ser parte de um método de projeto que crie resultados flexíveis a partir de padrões combináveis e parâmetros replicáveis.

Para explicar essas possibilidades, é possível fazer referência ao método de desenho de suportes apresentado por Habraken (2000) no livro *El diseño de soportes*.

Conforme contextualiza o autor, na década de 1960 o governo holandês promoveu uma política habitacional fortemente centralizada e estandardizada. Os arquitetos do país se alarmavam com a qualidade dos espaços resultantes e entendiam que

faltava no processo de projeto a participação dos usuários. Sentiam-se, todavia, limitados por regulações estatais e pelos sistemas construtivos impostos. Diante desses desafios, fundaram o SAR (Stichting Architecten Research), um grupo dedicado a buscar estratégias para o problema do projeto e da construção de habitações em grande escala.

O conceito de suporte desenvolvido pelo SAR é um reconhecimento da condição humana e de seu reflexo na variabilidade do espaço (HABRAKEN, 2000, p. 7-9). Os suportes constituem uma base fixa comum, que costuma incluir estrutura e serviços prediais, oferecendo elementos necessários para o funcionamento da residência e para sugerir uma organização básica do espaço. Dentro dele, o usuário tem controle sobre a compartimentação dos ambientes por meio do que o método chama de “unidades separáveis”. Unidades separáveis são elementos adaptáveis, capazes de serem acoplados em combinações diferentes, conforme as necessidades e desejos do usuário no transcorrer do tempo.

A flexibilidade é um aspecto fundamental da investigação, mas o autor explica que há limites para que sua contribuição seja positiva. Uma estrutura em esqueleto, que oferece liberdade total, requer mais unidades separáveis, que podem, por exemplo, prejudicar o desempenho térmico e acústico da unidade. Além disso, é difícil para o residente se identificar e se apropriar de espaços completamente indefinidos. Na verdade, quanto mais vazio o suporte, maior é o ônus criativo, técnico e financeiro transferido ao usuário. Desenvolver um suporte não se trata, portanto, de criar um espaço vazio qualquer. Habraken (HABRAKEN, 2000, p. 20) explica que um bom suporte é aquele capaz de oferecer diferentes tipos de espaços reconhecíveis, evocando possibilidades de apropriação ao residente. Existe, por isso, um sistema que cria e testa essas possibilidades.

O método de suportes desenvolve parâmetros e procedimentos baseados na coordenação modular para dimensionamento e distribuição de elementos sobre uma malha de multimódulo 3 M. Seus instrumentos são examinados na subseção 6.2.2, “Posicionamento horizontal dos elementos”, mas alguns aspectos pertinentes às análises de espaços e funções merecem ser adiantados na presente seção.

O dimensionamento dos suportes e das unidades separáveis se baseia no estudo dos espaços críticos. Para um dormitório, por exemplo, consideram-se as dimensões

de uma cama, um armário, uma cadeira, uma mesa etc. e as necessidades de espaço livre associadas a estes móveis (HABRAKEN, 2000, p. 80). A partir disso, testam-se vários arranjos de mobiliário possíveis, verificando para cada possibilidade a largura e a profundidade requerida para o espaço. Esse estudo pode ser sistematizado graficamente como feito nas figuras reproduzidas a seguir. Nelas, Habraken demonstra a análise do espaço crítico para um dormitório individual (Figura 49) que resulta em 240 x 210 cm e 180 x 330 cm; e para diferentes arranjos de banheiro (Figura 50). As duas análises consideram o multimódulo de 3 M para a definição dos limites da compartimentação.

Figura 49 – Análise do espaço crítico

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 56).

Figura 50 - Análise do espaço crítico

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 57).

A sistematização gráfica dos espaços estabelecida sobre uma mesma referência dimensional fornece elementos para composição de diferentes arranjos. É interessante observar que o princípio de flexibilidade permite que a conformação de alguns espaços críticos seja uma escolha do usuário e não uma imposição predefinida pela tipologia da habitação.

A Figura 51 e a Figura 52 a seguir trazem simulações de aproveitamento para diferentes larguras e profundidades de suporte a partir dos ambientes previamente estudados. Por meio de estudos como esses, é possível identificar, para um dado

projeto, as dimensões e proporções de suporte que proporcionam melhores possibilidades de arranjo das unidades separáveis.

Figura 51 - Análise de composição dos espaços

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 78).

Figura 52 - Análise de composição dos espaços

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 81).

Outro aspecto relevante do método desenvolvido pelo SAR é uma classificação baseada em três características de uso dos espaços – espaços para usos gerais, espaços para usos especiais e espaços de serviços (HABRAKEN et al., 2000, p. 103). Um espaço para usos gerais é aquele que receberá uma combinação qualquer de atividades que não pode ser determinada previamente, por exemplo, uma sala. Um espaço para usos especiais, como um dormitório ou um escritório, é destinado à permanência prolongada e tem dimensões mínima e máxima possíveis de serem estimadas, baseando-se em sua função principal. Os espaços de serviço prestam-se a ocupações de curta duração e têm caráter utilitário, como banheiro ou área de serviço; seu tamanho e distribuição se determinam a partir de uma análise mais precisa das funções e equipamentos que acomodam.

Tal classificação diferencia os espaços que precisam de mais área para acomodar atividades espontâneas dos que aceitam dimensionamento mais próximo do espaço crítico. Também permite criar parâmetros de posicionamento em relação aos acessos, à fachada e às colunas de instalação hidráulica. Dessa forma, contribui para a hierarquização de espaços e dimensionamento. Para o programa residencial, isso significa que os serviços – banheiro, área de serviços e, em alguns casos, a cozinha – podem ter dimensionamento mais justo e solução mais rígida, associada à posição das instalações no edifício. Em oposição, as salas e os espaços comuns, que podem acomodar toda natureza de atividades simultâneas e espontâneas, frequentemente ocuparão os maiores espaços do suporte. Nesse caso, tratando-se da apropriação espontânea do espaço pelo usuário, a ideia de desperdício desaparece.

Uma vez estejam definidas as dimensões e a configuração do suporte, os elementos a serem acomodados e os parâmetros de posicionamento, é possível testar variantes de planta, avaliando a qualidade da solução obtida. O objetivo é que o suporte seja capaz de acomodar compartimentações tão variadas quanto desejáveis. A Figura 53 ilustra essa simulação conforme o método proposto por Habraken.

Figure 1: Schematic diagram of a three-lane highway cross-section. The diagram shows three lanes with a central divider and two side dividers. The lanes are labeled B3, BI/BI, and KI/E. The width of the lanes is indicated by arrows and labeled L. The total width of the highway is indicated by arrows and labeled 2x8 90, 2x8 150, 2x8 270, and 2x8 150. The diagram is divided into two sections by a vertical line.

B2	B3
K1	
L3/E	L1

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 87).

187

aos clientes porque, a cada estágio, as opções e decisões tomadas ficam demonstradas e registradas. Ademais, foi aplicado por construtores e industriais para desenvolver componentes e sistemas construtivos que se acoplam ao restante da construção e para ilustrar as opções de desenho por eles oferecidas.

Segundo Habraken (2000, p. 54), o princípio de classificação, que articula espaços de diferentes tamanhos e características, é identificável na Escola Montessori, em Delft, de Herman Hertzberger (Figura 54). Nela, os espaços para usos especiais (salas de aula) e os espaços de serviço (sanitários) organizam-se em torno do grande espaço de uso geral para reuniões, recreação e atividades físicas. As salas de aula também se dividem em três espaços com características diferentes – os armários, a pequena zona de atividades de concentração e o salão principal (Figura 55). A esse respeito, cabe fazer referência ao próprio Hertzberger em entrevista dada em 2016 ao website *Architecture and Education* (DYER, 2016). Na entrevista, o arquiteto fala da importância da articulação de espaços de diferentes escalas para promover, ao mesmo tempo, experiências individuais e apreensão do conjunto. Explica também que regras de composição proporcionam condições para a variedade, mas que a variedade virá do uso feito pelos ocupantes. Então, seu método não trata de liberdade total, mas de possibilidades e de encorajamento para escolhas individuais.

Figura 54 - Escola Montessori, Delft

Fonte: Dyer (2016).

Figura 55 - Sala de aula na Escola Montessori, Delft

Fonte: Dyer (2016).

Percebe-se, nos casos citados, soluções em que o dimensionamento e a rigidez não são homogêneos; a racionalização do sistema obedece a uma hierarquia que é proveniente das características dos espaços desejados. No caminho oposto a tais experiências, a atual miniaturização dos espaços, identificável na arquitetura

habitacional no Brasil, se agrava, pela adoção de soluções rígidas de técnica construtiva e compartimentação dos espaços. Especialmente, a adoção da alvenaria estrutural como modelo de racionalização construtiva e paradigma de aplicação da coordenação modular merece exame.

A estreita ligação entre alvenaria estrutural e coordenação modular pode ser verificada nas pesquisas de Zechmeister (2005), Pereira (2005) e Lacerda (2005). Ademais, em outros autores, como Lucini (2001) e Soares (2008), a associação acontece com a alvenaria de vedação racionalizada. A importância das vedações dentro os subsistemas do edifício e a predileção, no Brasil, da alvenaria em relação a sistemas leves de construção justificam essa ligação.

A alvenaria tradicional, absolutamente artesanal em projeto e execução (SOARES, 2008, p. 19), tem como característica a não marcação das fiadas, cortes e preenchimento entre peças e falta de controle sobre processos. Comparada a ela, a alvenaria racionalizada, desenvolvida a partir de um projeto para produção, resulta em obras mais eficientes, com redução de custo, prazo de construção, manifestação de patologias, desperdício de material e retrabalho. Ademais, a racionalização da alvenaria costuma acompanhar a racionalização de outras atividades, como instalações elétricas e hidráulicas (ZECHMEISTER, 2005, p. 45). Já as vantagens trazidas pela alvenaria estrutural estão vinculadas à eliminação da estrutura convencional, que é incorporada à própria vedação. Entre essas vantagens é possível mencionar economia de formas, redução de espessuras de regularização e eliminação de etapas com consequências positivas sobre o gerenciamento de mão de obra e materiais, e sobre o ritmo de execução (ZECHMEISTER, 2005, p. 45).

A leitura de Zechmeister (2005) e Soares (2008) conduz ao entendimento de que a coordenação modular tem extrema relevância para a alvenaria, seja estrutural ou apenas de vedação. Tratando da alvenaria estrutural, Zechmeister (2005, p. 23) afirma que o uso da coordenação modular tem resultados positivos em praticamente todas as etapas do empreendimento porque permite a introdução de procedimentos de execução, de detalhes padronizados e de técnicas precisas. Para Soares (2008, p. 32-33), a coordenação modular, aplicada desde a concepção do projeto e também na produção dos blocos, reduz dificuldades típicas de um projeto para produção de alvenarias. Seu papel está em diminuir a necessidade de adequação da geometria

dos projetos às dimensões do bloco e de compatibilizar as disciplinas de arquitetura e estrutura porque o projeto já é concebido dentro de um parâmetro dimensional único. Ela tem também impacto positivo sobre os cronogramas e sobre os custos, pela diminuição de detalhamentos e dos problemas advindos da variedade dimensional excessiva dos componentes disponíveis no mercado.

A prática racionalizada do projeto para produção de vedações em alvenaria começou no final da década de 1980 e ganhou importância na década de 1990 (SOARES, 2008, p. 20). Com uma trajetória similar, a alvenaria estrutural, que teve início no Brasil na década de 1970, também evoluiu significativamente somente a partir da década de 1990. Antes disso, a tecnologia importada dos Estados Unidos apresentava patologias advindas da adaptação inadequada à realidade nacional (ZECHMEISTER, 2005, p. 44). A reportagem da revista Construção Mercado (ANTUNES, 2009) relata que, nas décadas de 1970 e 1980, a alvenaria estrutural era sinônimo de construção popular porque foi aplicada em larga escala em construções habitacionais com financiamento do Governo Federal. Na década de 1990, os construtores passaram a investir em pesquisa para melhorar seu desempenho, buscando ganhos em custo e rapidez. Disso resultou uma evolução rápida que consolidou a alvenaria estrutural como uma opção atraente para as construtoras. De acordo com a reportagem, o desenvolvimento foi significativo em São Paulo, onde a alvenaria estrutural já é aplicada em edifícios de apartamentos entre 15 e 25 pavimentos e destinados a padrão de consumo mais elevado.

Todavia, como qualquer outra técnica construtiva, a alvenaria estrutural tem algumas desvantagens inerentes. Dentre elas, destacam-se a necessidade de paredes internas enrijecedoras, que subdividem o espaço em cômodos relativamente pequenos, e a inviabilidade técnica de remover paredes portantes, que prejudica a adaptação de novos usos (ZECHMEISTER, 2005, p. 46; ANTUNES, 2009). Conforme explica a reportagem da revista Construção Mercado (ANTUNES, 2009), para a alvenaria estrutural, grandes vãos são possíveis com o emprego de técnicas adequadas, mas acabam neutralizando a vantagem que é ter as paredes como os principais elementos estruturais.

A alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado não apresenta as mesmas limitações. Ainda assim, os Projetos para Produção de Vedações Verticais

em Alvenaria (PPVVA) justificam-se à medida que haja uma certa repetição e constância da configuração de compartimentação proposta, porque mudanças exigem reestudo das amarrações e interfaces entre componentes.

Limitar a coordenação modular à resolução do projeto de produção das vedações em alvenaria e, sobretudo, da alvenaria estrutural, cria um sistema que tem como marca principal a permanência da compartimentação. É um método fundamentalmente oposto ao sistema de suportes, por exemplo, que usa coordenação modular para articular uma compartimentação flexível (HABRAKEN, 2000, p. 18).

É interessante, quanto a isso, resgatar uma crítica feita por Habraken sobre a industrialização da construção habitacional da década de 1960 na Holanda, que parece pertinente ao momento atual do Brasil. O autor relata que o programa do Governo para enfrentar o déficit habitacional foi, a princípio, bem-sucedido. Era uma solução razoável a um problema emergencial e teve êxito econômico porque foi bem organizado e aplicado em larga escala. Todavia, segundo ele, a produção massificada de arquitetura passou a ser usada de forma crescente e se converteu na norma para todas as situações. A uniformidade era defendida como um mal necessário para alcançar uma produção mais eficiente, mas, o que a princípio foi uma medida de emergência, havia se convertido em paradigma (HABRAKEN, 2000, p. 7-9).

Na verdade, sobre a situação brasileira, a crítica a ser feita não é acerca da aplicação da alvenaria como sistema estrutural ou de vedação. O julgamento reside sobre dois pontos principais: a) a prevalência de estudos que transformam a alvenaria racionalizada em paradigma de coordenação modular; b) a rigidez na compartimentação resultante, que agrava o problema principal que é a miniaturização dos espaços.

4.3.4 Observações finais

Com frequência, os esforços em produtividade e economia levam a perdas significativas de qualidade com prejuízo aos usuários. É necessário considerar que, para o usuário, “o desempenho dos meios de produção não representa o objetivo principal a ser alcançado” (ANDRADE, 2000, p. 81). Deve ser valorizado um

equilíbrio de atributos, dentre os quais beleza, funcionalidade, desempenho em uso, conformidade às exigências legais e custo, que estejam manifestos na obra edificada e em suas relações com o usuário e com a cidade.

Um projeto é resultado de intensa negociação entre arquitetos, clientes, construtores, empreendedores, engenheiros; e precisa equacionar da melhor forma possível esses atributos em uma área geralmente restrita (HABRAKEN et al., 2000, p. 11). Quando há problemas complexos a ser enfrentados – como a composição de custos da construção ou a solução de um programa de usos para um edifício –, tende-se a tentar simplificá-los, fixando soluções. Mas, porque necessidades humanas estão envolvidas, a supersimplificação de aspectos técnicos ou de organização prejudica a fruição da vida. A reinserção das considerações relativas ao usuário “requer coordenação e comunicação no desenho e na construção, e um contínuo exercício de valores de juízo a todos os níveis” (HABRAKEN, 2000, p. 15).

A crença da economia pelo mínimo constitui um obstáculo não só à qualidade, mas também à coordenação modular. Fabricantes oferecem componentes com dimensões inadequadas. Entidades de financiamento determinam tipologias inadequadas. A coordenação converte-se em um jogo de montar com regras excessivamente rígidas e resultado também inadequado.

Diante desses desafios, desde que não se incorra numa ultrassimplificação do tema, a coordenação modular é capaz de interferir de forma positiva no espaço construído. Resultados diretos podem ser a redução de custo, a melhoria de desempenho trazida pelos produtos industrializados e a harmonia na composição do conjunto. Os resultados indiretos, que acontecem quando seu uso implica mudanças na forma de conceber e construir o edifício (ANDRADE, 2000, p. 108-109), são decorrentes, por exemplo, da necessidade de resolução das juntas entre componentes ou da sistematização das tomadas de decisão no projeto.

A organização e a disposição dos espaços na coordenação modular pressupõem considerar exigências estéticas, de ocupação, de iluminação, de circulação, de ergonomia etc., além da padronização industrial. A compatibilização dimensional e a coordenação no sistema de tomada de decisões possibilitam flexibilidade e permitem a valorização de diferentes aspectos (ANDRADE, 2000, p. 105).

O estudo do método de Habraken (2000) indica que a coordenação modular pode fazer parte de um método para composição, dimensionamento e detalhamento construtivo desenvolvido para um universo de características comuns (que pode ser um programa de usos, uma entidade pública ou privada, por exemplo), auxiliando a obtenção da qualidade.

Sem embargo, a atividade do arquiteto não tem sido sempre capaz de direcionar os interesses dos empreendedores na busca por inovações tecnológicas com qualidade. O empreendedor possui situação privilegiada sobre as decisões, que com frequência ocorrem antes do envolvimento do arquiteto. “Decide sobre o preço, a localização, a tipologia da casa, sua distribuição, e o processo construtivo” (KENSHIAN, 2011, p. 16). O investidor que financia o ciclo imobiliário o faz como faria qualquer outra forma de investimento no mercado de capitais. “O fato de haver a produção de um edifício e, com ela, a produção de uma parte da cidade, de um bem cultural, com significado e consequências para a cidade (...) é desconsiderado neste momento” (FONSECA, 2003, p. 12). Por isso, ainda que legislações e normas técnicas e sanitárias garantam um nível mínimo de habitabilidade, os objetos construídos nesse caso resultam inadequados, alheios à complexidade e variabilidade dos requisitos presentes.

5 ARQUITETURA DIGITAL

Conforme verificado no referencial teórico desta dissertação, ainda que seus fundamentos tenham manifestações anteriores, a conformação atual da teoria da coordenação modular é produto da Revolução Industrial. No entanto, a era digital traz para o século XXI novas questões técnicas, estéticas e culturais que se manifestam na produção da arquitetura.

Romcy et al. (2014, p. 25) explicam que a revolução informática gera um novo modelo industrial em que “o desenho paramétrico e a automação de funções permitem um futuro que contemple a fabricação digital, a customização e a personalização”. Os mesmos autores citam Orciuoli (2010)⁶¹ ao escrever que a busca por soluções universais associada à Revolução Industrial e ao movimento moderno está sendo substituída pela multiplicidade e pela particularidade. Para Kolarevic (2003, p. 6), a arquitetura contemporânea se fundamenta na exploração de avanços tecnológicos recentes, novos meios digitais de concepção e produção e seu correspondente modelo estético de superfícies complexas e curvilíneas. Segundo ele, estas são manifestações das transformações culturais, sociais e econômicas que acontecem em escala global.

Apesar de trazer um discurso evidentemente direcionado à legitimação desta arquitetura digital, Kolarevic (2003, p. 27) assume que algumas alegações extravagantes e expectativas irrealistas foram projetadas a partir dela. Ele cita Mitchell (MITCHELL, 2001⁶² apud KOLAREVIC, 2003, p. 32) ao lembrar que tradicionalmente os arquitetos desenham o que podem construir e constroem o que podem desenhar. Essa reciprocidade, afirma, não desapareceu, apenas se transformou com as novas possibilidades de representação e produção. Isso significa que a forma digital não está livre das determinações impostas pelos meios

⁶¹ ORCIUOLI, A. Projeto assistido por computador: ontem, hoje, amanhã. **Revista Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v. 197, p. 108-111, ago. 2010.

⁶² Mitchell, William J.. Roll Over Euclid: How Frank Gehry Design and Builds. In: Ragheb, J. Fiona (ed.). **Frank Gehry, Architect**. New York: Guggenheim Museum Publications, 2001. p. 352-362.

de produção; ao contrário, só pode ser legitimada diante da eficácia dos meios que emprega.

Tendo em vista que a formulação teórica da coordenação modular é principalmente fruto do modelo seriado da segunda Revolução Industrial, é necessário investigar se e como os atuais projeto e produção computadorizados interferem em seu significado e relevância. Quais foram as mudanças ocorridas? Quais são os fundamentos que permanecem válidos? Quais as perspectivas futuras?

5.1 TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO

O conceito de uma tecnologia de modelagem digital da construção para produção, transmissão e análise de informação foi publicado pela primeira vez em 1975 na Carnegie-Mellon University, nos Estados Unidos e continuou se desenvolvendo nesse país e também na Europa durante a década de 1980. Entretanto, suas aplicações práticas dependeram da melhora da capacidade de processamento dos computadores e aprimoraram-se a partir da década de 1990 até a geração atual de softwares de criação e modelagem paramétrica como o *All-Plan*, *ArchiCAD*, *Autodesk REVIT*, *Bentley Building*, *DigitalProject* e *VectorWorks*. O termo *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem da Informação da Construção, que hoje identifica a tecnologia, foi documentado pela primeira vez em 1992 em um artigo escrito por G. A. van Nederveen e F. Tolman⁶³. A plataforma BIM começou a ser amplamente discutida a partir da primeira conferência sobre BIM estabelecida entre a academia e a indústria do setor em 2005 (MENEZES, 2011).

O BIM consiste em uma metodologia para produção, gerenciamento, compartilhamento e armazenamento de dados em um modelo virtual da construção, possível de ser acessado e modificado por diversos integrantes do processo e ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. Tal definição é bastante consolidada – a ênfase ao processamento e ao compartilhamento de informações em um banco de

⁶³ NEDERVEEN, G. A.; TOLMAN, F. P. Modeling multiple views on buildings. **Automation in Construction**, Amsterdã, v 1, n. 3, p. 215-224, dez. 1992.

dados associado, mas não limitado, a um modelo tridimensional digital está presente também nas definições de Lu e Korman (2010), Arantes (2010), Menezes (2011), Menezes e Lelis (2013) e Romcy et al. (2014). Arantes (2010, p. 127) explica que este modelo BIM tridimensional complexo contém todas as informações úteis para o projeto do edifício, independentemente da sua representação gráfica, e não deve ser confundido com uma renderização em três dimensões. Ainda, segundo o autor, este modelo “pode ser acessado e manipulado cumulativamente pelos diversos agentes envolvidos em rede no processo de projeto e construção” (ARANTES, 2010, p. 127). Para Menezes (2011, p. 154), diferentemente de um modelador 3D, a plataforma BIM integra arquitetos, engenheiros e construtores na elaboração de um modelo virtual preciso que contém subsídios para orçamento, cálculo energético e planejamento da construção, por exemplo. Menezes e Lelis explicam que o modelo virtual em BIM busca assemelhar-se à realidade, pois, aos objetos representados, são atribuídas propriedades, e citam Faria (FARIA, 2007⁶⁴ apud MENEZES; LELIS, 2013) ao exemplificar que “ao desenhar uma parede [...] aplica-se a ela o tipo e as dimensões dos blocos que a constituem, seu tipo de revestimento, fabricantes, entre outros” (MENEZES; LELIS, 2013, p. 2476).

A prática projetual feita com o auxílio do BIM passa por uma mudança profunda: o projeto não é mais desenvolvido a partir da produção sequencial de documentos gráficos, mas, sim, do processamento da informação associada à construção. “Todos os elementos do projeto passam a estar coordenados e associados a pequenos pacotes de dados sobre seus atributos” (ARANTES, 2010, p. 127). Essa coordenação dos dados, atributos e objetos de que escreve Arantes (2010) é a parametrização que Menezes (2011, p. 154) considera como a característica essencial do processo de modelagem BIM em relação à modelagem 3D tradicional. “É a parametricidade que garante gerar objetos editáveis que podem ser alterados automaticamente e dar o suporte à plataforma BIM”. A parametrização define regras e vínculos (parâmetros) necessários para uma especificação completa ou relevante de um elemento da construção (objeto) em seu contexto (modelo). As geometrias

⁶⁴ FARIA, R. Construção integrada. **Téchne**, São Paulo, v. 127, p. 44-49, out. 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/127/artigo286443-1.aspx>>.

paramétricas contêm também informações não gráficas, ou seja, carregam semântica e comportamento próprios, herança de propriedades e hierarquia de relações. São estas propriedades programáveis que concedem a inteligência aos objetos e, em última instância, ao sistema BIM.

A primeira, e possivelmente a mais importante, associação possível entre a coordenação modular e o sistema BIM é decorrente dessa lógica fundamental da modelagem de elementos construtivos como objetos paramétricos. A coordenação modular tem como fundamento a compatibilização entre elementos e sistemas construtivos em função de suas dimensões serem múltiplas do módulo (BALDAUF; GREVEN, 2007). O BIM se caracteriza pelo uso da modelagem paramétrica de elementos cujos atributos podem ser ajustados de acordo com o controle do usuário e a mudança de contexto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009 apud ROMCY et al., 2014, p. 26). Parametrização e coordenação modular têm em comum o fato de não se fundamentarem em valores absolutos, mas em regras de composição, relações entre elementos e dimensões que podem ser estabelecidas por relações matemáticas. Em ambos os casos, é necessário um domínio absoluto das regras do sistema construtivo.

A partir disso, é possível entender como, em certa medida, os princípios de compatibilização da coordenação modular podem ser traduzidos em parâmetros aplicáveis ao BIM. Em teoria, as regras de relação entre elementos que formam sistemas complexos na coordenação modular podem ser programadas em parâmetros e automatizadas. Na prática, essa programação de parâmetros é mais ou menos complexa, dependendo do sistema construtivo em questão. Ela também pode ou não ser passível da customização necessária através das ferramentas disponíveis no software BIM aplicado ou em *plug-ins* específicos. No Brasil, as pesquisas de Monteiro, Ferreira e Santos (2009), Menezes e Lelis (2013) e Romcy et al. (2014) abordam este campo da programação de elementos paramétricos para o projeto com componentes e sistemas construtivos existentes no mercado.

Ainda que as experiências em parametrização de componentes para o projeto modular sejam muito incipientes, a abordagem voltada ao objeto conduz ao exercício da construção como inter-relação de elementos e é significativa para a coordenação modular. Simultaneamente, o projeto ordenado conforme os

fundamentos da coordenação modular é adequado à composição racional dos objetos no sistema BIM, de forma análoga à própria construção. Entende-se, portanto, que é possível uma relação de troca benéfica entre os dois temas. “BIM e Coordenação Modular utilizados em conjunto podem ampliar os benefícios obtidos por cada uma separadamente.” (ROMCY et al., 2014, p. 23).

Para a coordenação modular, as tecnologias da informação e comunicação emergem também como estratégia para dissolução de barreiras ao auxiliar a assertividade dos projetos, o fluxo de informações e a realização de simulações (LU; KORMAN, 2010). Andrade (2000, p. 18-19) afirma que a representação tridimensional permite maior facilidade na representação de partes e no entendimento do projeto. A Figura 56 mostra como é possível ilustrar o posicionamento dos componentes modulares no sistema de referência modular⁶⁵ (tridimensional) acompanhando ou, em alguns casos, substituindo suas projeções ortogonais. Segundo ele, a representação tridimensional, menos abstrata, permite, entre outras vantagens: reduzir o tempo de projeto e o retrabalho; produzir de forma conjunta informações gráficas e não gráficas que servem ao projeto, à construção e também à produção industrial; melhorar o entendimento das relações entre componentes e entre disciplinas de projeto e execução, porque os elementos sobrepostos são mais bem visualizados; e agilizar o tempo de montagem dos componentes.

⁶⁵ O texto de Andrade (2000) utiliza os termos “reticulado modular espacial de referência” e “quadriculado modular de referência”. Para manter uma coerência geral, optou-se aqui por substituí-los respectivamente pelos termos “sistema de referência modular” e “projeção ortogonal do sistema de referência modular” que são aplicados pela NBR 15873 (ABNT, 2010).

Figura 56 - Componente situado no sistema de referência modular e suas projeções ortogonais

Sem escala.

Fonte: Andrade (2000, p. 19).

A associação entre BIM e coordenação modular fica explícita no *Relatório de Acompanhamento das Agendas Estratégicas Setoriais de Outubro de 2014*, publicado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), que aponta dois objetivos para o setor da construção civil (ABDI, 2014, p. 77, 78). O primeiro objetivo, “implantar a interoperabilidade técnica e promover a construção industrializada”, prevê ações para implantar NBR 15873 na fabricação de componentes a partir de exigências em contratos públicos, em regulamentações técnicas e em avaliações de conformidade pelo Inmetro. O segundo objetivo, “apoiar a intensificação do uso de TI aplicada à construção”, pretende implantar e disponibilizar gratuitamente na internet a biblioteca de componentes BIM, difundir e complementar a normalização brasileira para o BIM; e implantar a tecnologia BIM no sistema de obras do exército.

Dentre as medidas supracitadas, o projeto para desenvolvimento da biblioteca de componentes BIM teve início em 2009 por encomenda do MDIC como ferramenta para o projeto de habitações de interesse social focado no programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), mas não restrito a ele. A biblioteca foi disponibilizada para

download gratuito na internet no início de 2011 (CICHINELLI, 2012, NARDELLI et al., 2011).

O *template* MCMV⁶⁶, que foi criado no software Revit da Autodesk, contém famílias de componentes, elementos de anotação e de representação. Foram também disponibilizados três arquivos BIM com os principais sistemas construtivos utilizados em habitações de interesse social: convencional, metálico e alvenaria estrutural. Todas as famílias foram criadas observando a NBR 15873:2010 e as características dos produtos e sistemas construtivos brasileiros (CONTIER ARQUITETURA, 2011; CICHINELLI, 2012).

O relatório da ABDI do ano de 2014 (ABDI, 2014, p. 124) informa que o escopo do convênio MDIC-ABDI foi ampliado visando à realização das etapas seguintes à publicação da biblioteca: a contratação de estudo sobre os parâmetros de sustentabilidade e a confecção de manuais de uso. No entanto, uma publicação da revista Construção Mercado, aproximadamente um ano após a disponibilização da biblioteca (CICHINELLI, 2012), informava que a iniciativa havia tido pouco impacto no mercado. Dentre os motivos elencados para a baixa adesão estavam a pouca divulgação, o direcionamento a um único software (Revit Autodesk) e a necessidade de adequação da biblioteca pelas empresas de acordo com seus próprios procedimentos de projeto e técnicas de construção.

O artigo de Nardelli et al. (2011) realizou uma simulação de aplicação dessa biblioteca em um projeto específico para verificar a assertividade do material. É relevante destacar que uma das dificuldades encontradas foi a necessidade de ajuste das dimensões de projeto, uma vez que a coordenação modular, que é um parâmetro da biblioteca de componentes, não havia sido considerada no projeto original usado na simulação (NARDELLI et al., 2011, p. 3). A partir desta observação, é possível inferir que a aplicação da coordenação modular em projetos facilitaria a aplicação das bibliotecas de componentes. Por outro lado, a incorporação do BIM como prática projetual poderia conduzir à aplicação da coordenação modular por

⁶⁶ Os endereços eletrônicos originais para download do material não estão mais ativos. Entretanto, o acesso à biblioteca continua disponível por meio da página digital do escritório Contier Arquitetura responsável por seu desenvolvimento. Disponível em: <http://contier.com.br/downloads>. Acesso em: 01 fev. 2017.

exigir, já na fase de projeto, compatibilizações dimensionais que muitas vezes só seriam observadas durante a obra.

É possível também citar outras pesquisas relacionadas à modelagem de componentes construtivos em plataforma BIM que têm relevância para a coordenação modular.

Monteiro, Ferreira e Santos, em um artigo de 2009, pesquisaram abordagens para a representação da modulação nos Projetos para Produção de Vedações Verticais em Alvenaria (PPVVA) que não prejudicassem o desempenho de manipulação do modelo BIM. Foram propostas duas alternativas para representação: uma explícita, onde todos os elementos são modelados; e outra implícita, que usa a modelagem generativa, uma técnica que define algoritmos para representação de modelos geométricos (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009, p. 60).

De fato, a modulação da alvenaria, estrutural ou de vedação, é um assunto recorrente nas pesquisas dado "seu alto nível de interface com os outros subsistemas do edifício e sua importância da racionalização da obra" (ROMCY et al., 2014). Para Monteiro, Ferreira e Santos (2009) a modulação de alvenaria é uma atividade complexa que envolve muitas regras, variáveis de projeto e necessidade de compatibilização com os subsistemas e elementos com os quais faz interface (verga, contraverga etc.). Essas condicionantes impedem que a distribuição automática homogênea (*array* paramétrico) seja eficaz, pois o sistema é dinâmico e há a necessidade constante de ajuste pelo projetista (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009, p. 73). Dentre as conclusões de seu artigo, os autores relatam que seria interessante a elaboração de um *plug-in* que permitisse adicionar às paredes a representação de uma modulação segundo as regras do projeto de PPVVA (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009, p. 121).

O artigo de Romcy et al. (2014) tem particular interesse diante do problema identificado por Monteiro, Ferreira e Santos. A pesquisa elabora uma metodologia para a tradução de princípios da coordenação modular em parâmetros aplicáveis ao BIM e, a partir disso, desenvolve um *plug-in* para a geração automática de paginações de blocos cerâmicos para alvenaria racionalizada. Os autores fazem um estudo aprofundado para obter a compreensão necessária para recompor as regras

do projeto em linguagem computacional. Mas a pesquisa obtém maior relevância porque tem como objetivo uma metodologia geral, passível de aplicação a outros sistemas construtivos.

A metodologia desenvolvida para compreender a lógica de sistematização dos objetos e levantar recorrências para tradução em parâmetros aplicáveis ao sistema BIM foi organizada pelos autores em uma série de passos, conforme reproduzido a seguir (ROMCY et al., 2014, p. 34):

- a) identificar os componentes básicos do sistema construtivo;
- b) identificar as relações que o objeto é capaz de estabelecer entre semelhantes;
- c) decompor as principais dimensões do objeto;
- d) identificar as dimensões “problema”, onde reside a complexidade do arranjo entre componentes – ex.: comprimento da alvenaria;
- e) estabelecer para cada dimensão problema o “divisor” no qual ela será decomposta e os “restos” que deverão ser previstos;
- f) mapear as dimensões recorrentes em função do divisor e dos restos previstos, estabelecendo uma primeira classificação;
- g) mapear as configurações que o objeto estabelece em função das diferentes relações que ele pode realizar; levantar e agrupar recorrências, estabelecendo uma segunda classificação;
- h) organizar graficamente como todas as configurações classificadas anteriormente podem ser combinadas entre si.

Para validação do estudo, os passos foram aplicados a um segundo sistema construtivo, o *light steel framing* (LSF). É interessante notar que, no caso do LSF, como não há a amarração por intertravamento, a modulação pode ser independente do tipo de encontro realizado em suas extremidades. Isso define, por exemplo, que a dimensão “problema” que caracteriza a modulação neste sistema não é a dimensão entre eixos de parede, mas a dimensão entre faces. Ao ser capaz de identificar e respeitar regras de composição particulares, a metodologia demonstrou seu potencial de aplicação a outros sistemas construtivos. “Devido à utilização da abordagem sistêmica [...] e ao reconhecimento do objeto a partir de seus componentes, relações e estruturas, pressupõe-se a possibilidade de utilização da

metodologia [...] não apenas nos sistemas construtivos de vedação" (ROMCY et al., 2014, p. 36). Os autores apontam que, na época da publicação do artigo, uma pesquisa correlata, aplicada às esquadrias moduladas, estava em andamento pelo grupo MEHIS – Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais (ROMCY et al, 2014, p. 33).

As conclusões apresentadas por Romcy et al. (2014) atestam que o uso de um referencial dimensional comum proveniente da coordenação modular possibilitou o domínio de variáveis, com a descoberta de recorrências e a consequente generalização de métodos e parâmetros. "Os princípios da Coordenação Modular não são, assim, traduzidos diretamente, mas utilizados como parte fundamental no processo de tradução, atuando como um referencial dimensional único" (ROMCY et al., 2014, p. 36). Por outro lado, de acordo com os autores, na plataforma BIM "os conceitos da Coordenação Modular podem ser aplicados e compreendidos a partir de uma visualização mais clara do modelo e de uma automatização de funções" (ROMCY et al., 2014, p. 37).

Não obstante, é importante estabelecer um contraponto às pesquisas supracitadas, para que não se crie uma falsa expectativa de que a automatização de parâmetros informatizados substitua completamente as qualidades proporcionadas pelo processo mental de elaboração de projeto. Este aspecto pode ser entendido por meio da monografia de Soares (2008), que, mesmo não direcionada à programação de parâmetros em plataformas digitais, testa procedimentos facilmente traduzíveis para tais plataformas. Sua pesquisa se propôs a verificar a aplicabilidade de soluções padrão de intertravamento associadas à coordenação modular em projetos para produção de vedações verticais em alvenaria (PPVVA). Em seus estudos de caso, primeiramente, fez a adequação de projetos convencionais aos princípios da coordenação modular. Então, verificou que, nos projetos coordenados modularmente, é possível identificar situações típicas de encontro que se repetem e que representam quase a totalidade de amarrações necessárias.

A partir disso, foram desenvolvidos detalhes padrão para o intertravamento de blocos de alvenaria nas situações típicas: no meio de parede para diferentes espessuras de blocos, de canto de parede também para diferentes espessuras, para espaletas de portas e para variações de comprimento da parede em 10, 20 e 30 cm

(situações em que o comprimento não corresponde a um múltiplo inteiro do bloco de 40 cm). Os detalhes solucionavam pontualmente as interferências típicas de cada situação, de forma a reestabelecer o quanto antes a regularidade na paginação dos blocos inteiros de alvenaria com juntas coincidentes ao sistema de referência modular.

Tal raciocínio verificou-se viável, agilizando e facilitando o processo de projeto. Tornou o PPVVA uma tarefa absolutamente objetiva, já que, para cada situação identificada, existia uma solução pré-determinada. A partir dessas observações, Soares avaliou que seria também possível aplicar esse modelo de detalhes padrão no desenvolvimento de softwares para desenho automático das paginações de primeira e de segunda fiada em projetos coordenados modularmente. Tal conclusão vai ao encontro das pesquisas previamente mencionadas que investigam a possibilidade de automatizar a distribuição dos componentes em projetos modulares.

Porém, o aspecto de interesse a ser observado na pesquisa de Soares é a avaliação que se segue a tal constatação. A autora então faz uma análise qualitativa e quantitativa do projeto resultante da aplicação automática dos detalhes padrão e verifica que eles tiveram um efeito negativo para a racionalidade da construção. Nos estudos de caso analisados, quando comparados aos projetos originais sem qualquer forma de adequação, houve um acréscimo de 4,5% na quantidade de peças assentadas por pavimento tipo. Verificou-se que este aumento resultou do “engessamento” da paginação consequente da adoção muito rígida dos padrões de amarração. Essa situação é demonstrada na Figura 57, que mostra a repetição de peças compensadoras numa mesma fiada; em um projeto convencional, tais peças seriam trocadas por uma só peça maior. Também se observou que os detalhes padrão em geral determinaram o uso de blocos compensadores nas extremidades das paredes, o que para a obra não é conveniente porque esses blocos são menores e mais leves e, por isso, mais difíceis de manter em prumo e posição quando estão na ponta. Finalmente, notou-se que, em alguns casos, devido à combinação de várias interferências, as soluções padrão não puderam ser aplicadas simultaneamente, tornando-se necessária a ação do profissional de projeto para propor uma solução adequada.

Figura 57 - Exemplo de baixa na racionalização quantitativa resultante do uso de detalhes padrão no PVVA

Sem escala.

Fonte: Soares (2008, p. 64).

Em contrapartida, Soares (2008) verificou que os estudos de caso que fizeram a adequação à coordenação modular, mas não aplicaram os detalhes padrão de amarração, isto é, procuraram as soluções mais inteligentes para cada caso, promoveram uma economia de 3,7% na quantidade de peças assentadas quando comparados aos projetos originais e de 8,5% quando comparados aos projetos que usaram as soluções padrão para amarração.

Portanto, o grau mais elevado de racionalização qualitativa e quantitativa foi proporcionado pela coerência de dimensões proveniente da coordenação modular associada à análise crítica do profissional de projeto. As facilidades em projeto trazidas pela automação da solução não se mostraram vantajosas para a economia e mesmo para a qualidade da construção. É possível concluir que, neste caso, a replicabilidade das soluções e o entendimento da lógica que gerava os detalhes padrão auxiliaram o projeto de produção, mas que o critério de um profissional

qualificado ainda não pode ser satisfatoriamente substituído por um processo completamente automático.

A pesquisa de Soares (2008) demonstrou que há o risco de que a programação de parâmetros de ajuste automático seja um atalho de projeto que não se traduza em resultados mais eficientes na construção. A informatização, ao menos por ora, não elimina a necessidade da avaliação humana, principalmente nos casos em que a racionalidade resulta da aplicação criteriosa de exceções. Os processos que reduzem “a gestualidade do desenho para se concentrar em sua ‘programação’ como sequências de instruções” (ARANTES, 2010 p. 116) podem se tornar uma prescrição de dados completos, porém desprovidos de significado e até de inteligência.

Existem também cuidados a serem tomados. A leitura de Arantes (2010, p. 115), oferece pistas sobre o risco da reprodução parcial ou descriteriosa das novas ferramentas digitais no processo de projeto. “[...] o *software* não pode ser fetichizado”, escreve o autor. Ele cita Branko Kolarevic (KOLAREVIC, 2003, p. 294) ao explicar que, quando um *software* facilita algumas operações em detrimento de outras, está também dirigindo a prática de projeto. Da mesma forma que os componentes industriais trazem em si predefinições da indústria que podem ou não traduzir-se em benefício para a arquitetura, os softwares são programados por profissionais e empresas que, através deles, conduzem o processo de projeto. Daí a importância de que o ensino incorpore uma visão global do sistema e noções de programação que possibilitem a investigação crítica e o domínio sobre as ferramentas disponíveis. Daí também a relevância das pesquisas que, por exemplo, produzem bibliotecas de componentes e desenvolvem *plug-ins* e processos customizáveis, adaptando os softwares às técnicas de projeto e de construção nacionais.

Finalmente, deve-se observar que, embora os objetos paramétricos possam simular componentes construtivos, esta materialidade criada é, estranhamente, virtual. A materialidade virtual, precisa, rigorosa e estática nem sempre corresponde à materialidade da indústria e, principalmente, do canteiro de obras.

5.2 PRODUÇÃO DIGITAL

As transformações ideológicas, estéticas e técnicas proporcionadas pela Arquitetura Moderna tiveram um impacto profundo, mas não foram capazes de alterar a estrutura produtiva da construção e implantar o método industrial no canteiro de obras. A padronização industrial e a pré-fabricação revelavam-se, com frequência, muito rígidas para atender aos objetivos técnicos e estéticos.

A característica distintiva da construção civil como setor produtivo são seus processos e espaços variáveis (HELM et al., 2012, p. 170). A complexidade da produção no canteiro de obras foi analisada por Vargas (1979) e Arantes (2010, p. 151) que associaram a variabilidade característica a diversos fatores, tais quais a natureza heterogênea dos produtos, dos tamanhos e dos locais, e a diferença de quantidade de trabalho e tempo requerida em cada uma das suas operações. A construção exige, assim, uma organização extremamente flexível que se adapte a condicionantes técnicas, espaciais e de cronograma específicas e imprevisíveis, o que impede que o trabalho seja automatizado em uma linha de produção homogênea. A isso é preciso acrescentar a variação dos projetos que atendem às inúmeras demandas próprias da arquitetura e que, em maior ou menor grau e ao contrário dos produtos industriais, nunca puderam se apartar do valor da expressão da forma única. A situação se torna progressivamente mais complexa, uma vez que o ineditismo formal tem recebido cada vez mais destaque (ARANTES, 2010) e os requisitos técnicos (de desempenho e sustentabilidade, por exemplo) estão se tornando mais rigorosos e exigem soluções personalizadas (HELM et al., 2012).

Por isso, comparado aos setores de industrialização acelerada, a construção civil continua a ser vista como atrasada ou retardatária (ARANTES, 2010, p. 147). Mas a variabilidade que significou um obstáculo para a adaptação aos modelos da Primeira e da Segunda Revolução Industrial passa a ter um novo significado à medida que a própria indústria se transforma mais uma vez. As mudanças decorridas depois da década de 1970 pertencem à Terceira Revolução Industrial, revolução tecnocientífica, que tem a flexibilidade como característica marcante. Em uma tendência liderada, mais uma vez, pela indústria automotiva, métodos de fabricação computadorizados já são capazes de produzir tanto elementos padronizados quanto customizados (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008, p. 228).

Existem, segundo Arantes (2010, p. 156), “afinidades eletivas” entre a construção civil e esta nova indústria digital/flexível que permitem acelerar as transformações na arquitetura. O canteiro é assim um campo privilegiado para experimentação das novas tecnologias, e os desafios enfrentados na construção passam a ser muito atuais.

A convergência permite que o tema da industrialização da construção volte à cena, mas com novos pressupostos: não mais condicionado à seriação e padronização, e sim aberto à pré-fabricação sob medida, de peças únicas – o que é favorecido pelo novo ‘fluxo contínuo’ de informações digitais entre modelos multidimensionais de projeto e máquinas e robôs que podem executar formas complexas com alta variabilidade. (ARANTES, 2010, p. 156)

Novas abordagens na construção industrializada, baseadas na aplicação de métodos computadorizados, prometem um aumento da liberdade de criação e representam um aspecto de interesse para a construção econômica e de alta qualidade. O uso desses métodos digitais de produção, que já são procedimentos padrão na aeronáutica e na indústria espacial, representam novas possibilidades especialmente quando se considera que as demandas técnicas para a arquitetura são mais simples do que para veículos e aeronaves (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008, p. 226).

Com o objetivo de atender demandas específicas dos arquitetos e clientes, os softwares paramétricos de projeto já podem ser associados diretamente às máquinas de produção computadorizadas. Os softwares otimizam a organização de elementos com geometrias variáveis e determinam os procedimentos necessários para a produção (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008, p. 228). A produção computadorizada, conforme é tratado mais adiante, ainda é um processo caro. Mas a customização em si não envolve grandes investimentos em capital fixo, “pois as máquinas programáveis utilizadas na produção flexível permitem executar uma ampla variedade de ações sobre as matérias-primas, sem a necessidade de investimentos em moldes, facas e peças industriais” (ARANTES, 2010, p. 168).

A construção do museu Guggenheim de Bilbao, projeto de Frank Gehry que foi inaugurado em 1997, é citada por Arantes (2010, p. 168) como a primeira experiência relevante de construção nesse modelo flexível. Nele, milhares de peças únicas foram produzidas sob medida e unidas no canteiro sem nenhuma exigência

de padronização. Atualmente, componentes construtivos para estruturas geometricamente complexas já são produzidos por meio desses métodos de fabricação computadorizados. Técnicas de pré-fabricação flexível tanto em madeira quanto em aço estão bem estabelecidas, enquanto técnicas equivalentes em concreto e alvenaria ainda estão sendo aprimoradas. Sistemas de fôrmas variáveis, pneumáticas ou hidráulicas, estão sendo desenvolvidos para a produção de estruturas complexas em concreto (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008, p. 226-227).

Os vários sistemas de produção digital existentes têm em comum o fato de que a informação que define os elementos a serem produzidos é importada em formato digital (frequentemente no padrão dxf) até o software que controla o equipamento (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008, p. 227), mas diferem em seus limites e aplicações. Cada um transforma as matérias-primas de forma diferente e é capaz de produzir resultados específicos. Por isso, também oferecem possibilidades distintas em relação à liberdade da forma, da dimensão e da composição dos elementos.

A tecnologia *Computer Numerical Control* (CNC), que usa equipamentos de pressão, corte, perfuração e usinagem controlados por computador, é o processo digital que tem aplicação prática mais difundida na construção civil. Materiais como a madeira, o plástico e os metais, e particularmente os que têm formato de chapa ou lâmina, podem ser muito bem trabalhados nesse processo. Os novos meios de produção nele baseados possibilitam técnicas de fabricação variadas, mas que podem, segundo Arantes (2010, p. 170-172), ser organizadas em três modalidades principais: a) corte de peças planas com quaisquer formatos por um equipamento que move-se em duas direções (eixos x e y) sobre a matéria prima; b) usinagem de peças de dupla curvatura, acrescentando-se mais eixos de movimentação no equipamento que processa a matéria (eixo z para profundidades variáveis e outras articulações para cortes angulados); c) arqueamento e dobra de peças.

Várias tecnologias para corte e usinagem estão disponíveis, como o arco de plasma⁶⁷, o laser e o jato de água com material abrasivo, com diferenças entre os tipos de matéria e as espessuras que podem ser trabalhadas por cada técnica. O corte a laser é economicamente viável para materiais de até 15 mm, sendo muito usado para chapas metálicas e peças de madeiras. O corte a jato de água pode ser aplicado em materiais mais espessos; é usado em vidros, pedras e placas espessas de metal, como, por exemplo, chapas de titânio de mais de 3 cm de espessura (KOLAREVIC, 2003, p. 34; STAIB; DÖRRHÖFER, ROSENTHAL, 2008, p. 227).

A usinagem em CNC pode ser usada para executar industrialmente encaixes complexos (como em carpintaria, por exemplo), mas também para produzir fôrmas de dupla curvatura para a moldagem de componentes. Foi aplicada nas fôrmas para concretagem da estrutura do edifício de escritórios *Der Neue Zollhof*, de Frank Gehry, em Düsseldorf, e nas fôrmas para molde de vidro laminado usados na *Condé Nast Cafeteria*, também de Gehry, em Nova York, e no pavilhão “Bolha” da BMW, de Bernhard Franken, em Frankfurt (KOLAREVIC, 2003, p. 35).

O arqueamento e a dobra de peças compartilham com os dois modelos anteriores o fato de serem aplicados a materiais já conformados (como chapas, barras e tubos) que são transformados por meio de mecanismos móveis que seguem dados digitais. Porém, diferentemente dos outros dois, não fazem corte ou remoção de material. A deformação controlada é conseguida mediante a aplicação de pressão, calor ou vapor em pontos, eixos ou superfícies ajustáveis. Usualmente, os resultados são curvaturas simples (em uma única direção), mas, conforme explica Kolarevic (2003, p. 39), a dupla curvatura pode ser obtida por uma matriz de pinos de altura ajustável.

Fundamentalmente, diferentes das técnicas de CNC, nos métodos conhecidos como *Computer Aided Manufacturing* (CAM) ou impressão 3D, a forma é gerada por processos aditivos a partir de uma matéria-prima amorfa. Todas as tecnologias de fabricação aditiva compartilham o mesmo princípio de que o volume é criado a partir

⁶⁷ No corte por arco de plasma, um arco elétrico atravessa um jato de gás comprimido, aquecendo e convertendo o gás em plasma de altíssima temperatura que proporciona o corte (KOLAREVIC, 2003, p. 34).

da sobreposição de camadas bidimensionais que são “fatias” do modelo tridimensional digital. A estereolitografia foi o primeiro sistema CAM, criado já no final da década de 1980. Nela, um laser é usado para solidificar porções de um polímero líquido camada a camada. Desde então, várias outras tecnologias foram desenvolvidas, utilizando diferentes matérias-primas e processos de cura (luz, temperatura ou processos químicos). No *Selective Laser Sintering* (SLS), feixes de laser derretem camada a camada um pó metálico para criar objetos sólidos. No *Fused Deposition Modeling* (FDM), cada seção é produzida pelo derretimento de um filamento plástico que se solidifica ao esfriar. A *Multi-jet manufacture* (MJM) usa um “cabeçote” de impressão modificado para depositar camadas finas de uma cera termoplástica derretida. A espessura das camadas resultantes em cada método afeta diretamente a resolução da impressão: quanto mais fina a camada, melhor o detalhamento da forma (KOLAREVIC, 2003, p. 36).

Nos processos aditivos, o custo e o tempo de produção são muito afetados pelo tamanho do objeto a ser produzido, porque o trabalho não é restrito à formação dos contornos, mas à totalidade da matéria. Por isso, ainda são pouco viáveis para os grandes componentes da construção civil. Suas aplicações principais, por ora, ocorrem na produção de maquetes em escala e de modelos originais usados para a fôrma de peças fundidas em produção seriada (KOLAREVIC, 2003, p. 37). As pesquisas são incipientes, mas avançam na diversidade de materiais, como o pó da celulose e o cimento, e em técnica, como o uso da nanotecnologia (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008, p. 227-228). Kolarevic (2003, p. 37) aponta o advento de um sistema híbrido chamado *contour crafting*, que usa o processo aditivo apenas na formação de uma casca de contorno, que depois é preenchida com concreto ou outro material de enchimento. Tais avanços podem ser significativos no futuro porque, nos processos aditivos, há uma enorme liberdade formal sem a necessidade de moldes e não há o desperdício de material característico do CNC.

Após a produção dos componentes, outras técnicas digitais hoje podem auxiliar a montagem na obra, como o posicionamento a laser e a identificação eletrônica de componentes. Conforme exemplificam Kolarevic (2003, p. 38) e Arantes (2010, p. 176), no museu Guggenheim em Bilbao as peças customizadas do revestimento possuíam códigos de barras e coordenadas de seu posicionamento, que foram

usadas para viabilizar a localização com precisão eletrônica no canteiro, demanda da forma arquitetônica projetada.

A robótica também é um campo promissor. Os dados geométricos extraídos de um modelo tridimensional podem ser usados para a programação da atividade de um robô na construção (KOLAREVIC, 2003, p. 38). O robô se difere dos outros meios porque é capaz de ações motrizes complexas e variadas, como apanhar materiais e usar ferramentas, o que lhe permite a execução das sequências de movimentos de um ser humano (ARANTES, 2010, p. 157). Grande parte dos produtos industriais – por exemplo, carros e equipamentos eletrônicos – já são produzidos por robôs (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008, p. 228). Na University of South California e no Departamento de Arquitetura do Instituto de Tecnologia de Zurique (ETHZ), estão sendo conduzidas pesquisas no desenvolvimento de robôs que são capazes de erguer a casca de uma residência unifamiliar em 24 horas (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008, p. 228).

O R-O-B, um dos robôs pedreiros desenvolvidos no ETHZ, opera com uma “mão” que pode ser equipada com diferentes ferramentas e alcançar uma área de 3 x 3 x 8 m. Montado sobre um trilho deslizante com cerca de 10 m de comprimento, sua possibilidade de movimentação é para frente e para trás. As paredes são construídas em um sistema de pré-fabricação e, depois de prontas, são movidas com a ajuda de uma empilhadeira (ARANTES, 2010, p. 161-163).

De acordo com a equipe responsável, o R-O-B se diferencia de robôs anteriores porque não tem como objetivo reproduzir os processos de construção tradicionais, mas proporcionar inovações que não seriam possíveis na produção manual. Sua primeira aplicação comercial foi na construção de painéis de tijolos cerâmicos para o fechamento de um edifício em uma vinícola suíça. O resultado – uma fachada iluminada e ventilada através da rotação variável dos tijolos – tem um efeito visual impactante que foi descrito da seguinte forma por Arantes (2010, p. 164):

O resultado final é desconcertante, pois o uso do tijolo e sua disposição em formas orgânicas que significaram a liberdade motriz do trabalhador em canteiro passam a representar precisão mecânica, prodígio técnico – pois não há vestígio de trabalho humano na exatidão com que as peças foram regularmente dispostas. [...] Ele [R-O-B] se ‘humaniza’ na mesma medida em que executa uma obra que não teria como ser feita pela mão humana.

Entretanto, Helm et al., (2012, p. 170), pesquisadores do ETHZ, observam que, até agora, esses processos automatizados foram tratados estaticamente, utilizando máquinas localizadas fora do canteiro de obras para atividades específicas de pré-fabricação. Ou seja, enquanto a pré-fabricação se desenvolve rapidamente, principalmente com os equipamentos CNC, a maioria dos trabalhos no canteiro ainda é realizada por operários.

Os autores explicam que os pedreiros automatizados (robôs) desenvolvidos pelo Instituto desde a década de 1990 ainda não têm aplicação comercial difundida. Os principais motivos para isso foram, em primeiro lugar, sua inviabilidade econômica e, em segundo lugar, sua incapacidade de responder bem às condições variáveis do canteiro de obras (HELM et al., 2012, p. 171). Ao contrário de uma indústria de pré-fabricação típica, mesmo um canteiro de obras simples é um ambiente espacialmente complexo e heterogêneo, onde uma unidade robótica está exposta a circunstâncias imprevisíveis, obstáculos e movimentação de pessoas (HELM et al., 2012, p. 170). A construção digital *in situ* espera ainda um progresso que viabilize custos e operação no canteiro (HELM et al., 2012, p. 176).

Diante de tais questões, em artigo publicado em 2012, os pesquisadores do ETHZ apresentaram um novo robô móvel para ser usado diretamente no canteiro de obras, combinando as vantagens da manufatura digital e da construção *in situ*. Suas ferramentas incluem sistemas de digitalização e tecnologias de reconhecimento de objeto que podem lidar com as tolerâncias requeridas, responder às necessidades de movimentação e ser orientadas por instruções humanas (HELM et al., 2012, p. 170).

Durante o processo de fabricação, esse robô é capaz de medir e mapear desvios e corrigi-los rapidamente, reorientando seu “braço” com o novo conjunto de dados de altura e ângulo. O robô também é capaz de reconhecer as indicações de um parceiro humano em relação a sua área de trabalho e reagir reposicionando-se. Um sistema foi desenvolvido para a digitalização 3D de pontos de referência (discos de metal) localizados no espaço de trabalho, que o robô segue para se reposicionar de acordo com coordenadas mapeadas. Isso permite a construção de grandes elementos em várias etapas à medida que ele vai se movimentando livremente (HELM et al., 2012, p. 172-174).

A direção das pesquisas indica um futuro no qual pelo menos parte das atividades no canteiro de obras poderá ser substituída pela robótica. Provavelmente, em uma parceria homem/robô que aproveita as capacidades cognitivas inatas do primeiro e as habilidades físicas do segundo. Haverá, então, questões importantes a serem avaliadas em relação à redução de postos de emprego, além da já corrente “desconexão tátil” – perda de um saber da arquitetura relacionado às possibilidades da mão humana. Enquanto esse momento não chega, conforme lembra Arantes (2010, p. 182), não é um exército de robôs que está sendo convocado para montar essa arquitetura de formas livres, mas sim um exército de trabalhadores pertencentes a um setor notório pelo desrespeito às condições de segurança do trabalho (ARANTES, 2010, p. 199). Isso posto, a automação flexível da construção acontece de forma parcial e encontra limites importantes.

A operação de montagem dos edifícios geometricamente complexos, com peças que apresentam variação completa entre si, pode ser uma tarefa muito difícil mesmo com a utilização de aparelhos digitais em coordenação com guindastes e gruas. “Todas essas milhares de peças únicas feitas em fábrica, em determinado momento, chegam ao canteiro para serem montadas, como um enorme quebra-cabeças” (ARANTES, 2010, p. 174-176). A montagem exige, além dos equipamentos, operários especializados como, por exemplo, no Guggenheim Bilbao, onde foram necessários operários da indústria naval (ARANTES, 2010, p. 172), ou no estádio de Munique, dos arquitetos Herzog e De Meuron, onde foram contratados alpinistas (ARANTES, 2010, p. 193). Há também problemas relacionados à logística, já que peças únicas não podem ser facilmente substituídas, mesmo no caso de haver algum problema ainda durante a obra. Arantes (2010, p. 189) cita uma reportagem do Discovery Channel que relatou que a construção da Cidade da Cultura, obra de Peter Eisenman de 2011, chegou a ser paralisada algumas vezes em decorrência de problemas com peças que precisavam ser refeitas.

A precisão milimétrica induzida pelo projeto e pela fabricação digital, quando levada de forma descriteriosa até o canteiro, isto é, sem a previsão das folgas, tolerâncias e juntas adequadas, torna a montagem uma tarefa difícilíssima mesmo com o auxílio da medição a laser. As peças da estrutura CCTV *Headquarters* de Rem Koolhaas tiveram que ser conectadas durante a noite, porque a dilatação provocada pelo sol interferia

no ajuste ultrapreciso dos encaixes (ARANTES, 2010, p. 193). “Nenhum único erro é permitido, sob pena das demais peças não encaixarem ao final”, comenta Arantes (2010, p. 193) sobre os projetos de Frank Gehry. Trata-se “de uma exatidão irracional para arquitetura que não dá espaço para as adaptações e pequenas correções necessárias em obra” (ARANTES, 2010, p. 182). Ademais, acontecem problemas decorrentes da mescla de tecnologias e materiais que favorece o desajuste entre componentes – as estruturas cortadas com altíssima precisão devem se conectar a bases que são caracteristicamente imprecisas, como a fundação e o terrapleno (ARANTES, 2010, p. 186).

Os desafios se agravam porque, conforme explica Arantes (2010, p. 186), na arquitetura que chama de “midiática”, a variação extrema que é procurada em cada obra torna-a simultaneamente protótipo e produto final, no sentido de que seus componentes estão sendo aplicados pela primeira e, não raro, única vez. Nesse sistema, que não ocorre em nenhuma outra indústria, a inovação representa muitas vezes um risco para o desempenho do edifício (ARANTES, 2010, p. 186).

Igualmente, a liberdade proporcionada pelos processos de fabricação digital não desobriga a produção da racionalidade no aproveitamento e no emprego coerente dos materiais. É evidente que, quando formas arbitrárias são cortadas uma a uma pelos processos de CNC, a partir de, por exemplo, chapas de aço, haverá desperdício decorrente das sobras resultantes. Há softwares capazes de calcular o melhor aproveitamento do material para a extração das formas modeladas, mas a eficiência é limitada pela inteligência do desenho e do dimensionamento que são definidos *a priori*.

Ao avaliar a relação da produção digital com a coordenação modular é importante relacionar as “liberdades” obtidas aos estágios de processamento da matéria-prima. De acordo com a classificação proposta por Rosso (1976), os materiais da construção podem ser divididos em dois grandes grupos: os amorfos e os componentes. Do estado amorfo natural (matéria-prima bruta) até a última fase de composição, existe uma sucessão de estágios de aplicação de tecnologia: beneficiamento, extrusão, laminação, moldagem, conformação, associação e integração *in situ*. Os materiais amorfos só sofreram extração e beneficiamento, ou seja, não passaram por transformações de forma e, claramente, não são objeto da

coordenação modular. No outro extremo, os componentes pré-fabricados montados *in situ* devem ter as questões de dimensionamento e integração completamente solucionadas.

O que se percebe ao analisar as novas tecnologias é que essa lógica simples apresentada por Rosso na década de 1970 continua valendo. Quanto mais próximo estiver o material de seu estado amorfo quando a tecnologia é aplicada, mais livre estará o processo dos princípios da coordenação modular. Logo, o CAM (ou impressão 3D) é o processo de fabricação que menos requisitos tem em relação à coordenação modular porque aplica matéria-prima em pó ou líquida, ou seja, amorfa. No extremo oposto, a aplicação de tecnologia digital por robôs no estágio de montagem não desobriga em nada o objeto da compatibilização dimensional, uma vez que seus contornos já estão completamente definidos. A robótica, quando usada na montagem em canteiro, já trabalha com componentes complexos e irá encontrar as mesmas necessidades de coordenação enfrentadas pela produção manual. Nesse caso, há o agravante de que, como as ações do robô são programadas, é necessário um projeto de produção completo (como, por exemplo, o PPVVA) que informe a posição de cada componente em relação ao vizinho, o que acaba justificando a aplicação da coordenação modular. Os processos de CNC situam-se em uma condição intermediária. Eles são aplicados a materiais semiterminados que, em geral, têm duas dimensões definidas que devem ser consideradas.

Finalmente, o que se encontra na construção é um sistema híbrido em que tecnologias diferentes são empregadas em etapas variadas e materiais distintos. Ainda que a produção de um sistema particular seja extremamente flexível, caso da impressão 3D de vedações em concreto, será preciso verificar as condições de compatibilidade com os demais sistemas, como cobertura, esquadrias e instalações.

Há, ainda, a questão dos custos relacionados à produção digital, que nas condições atuais são muito significativos. Para Arantes (2010, p. 186), existe um descompasso entre essa técnica avançada e a função resultante:

Máquinas CNC e robôs são utilizados noutros setores industriais não apenas como meio de supressão do trabalho altamente qualificado, mas para obter componentes de alta precisão necessários ao desempenho mecânico dos seus produtos. É assim que as peças cortadas por controle numérico ou soldadas por robôs permitem um ganho de desempenho e segurança em aviões, navios e automóveis. Na construção, essa precisão máxima, milimétrica ou micrométrica, não é necessária para o bom

desempenho de um edifício. Sua utilização implica, evidentemente, em custos adicionais. (ARANTES, 2010, p. 184)

Se, por um lado custos com fôrmas, moldes e facas associados a uma forma específica são eliminados, por outro a modelagem informacional em si já implica custos significativos. A quantidade de informação que precisa ser previamente definida e programada para a produção computadorizada é muito maior e mais cara porque os programadores e operadores devem ser qualificados. A isso, somam-se os custos com equipamentos automatizados e softwares de manipulação. O resultado é que “a execução de projeto e construção por meio de fluxo contínuo e pré-fabricação em CNC é quase sempre mais dispendiosa do que por métodos tradicionais” e tem aplicação reservada a projetos em que o custo se justifica pelo programa ou pela “renda da forma” (ARANTES, 2010, p. 184). Mesmo assim, essas novidades com frequência não passam de uma “cortina *high-tech*” de função ideológica, que “sequer ocorrem nas obras da maioria dos demais arquitetos-estrela” (ARANTES, 2010, p. 156). Quando o custo do trabalho é inferior aos métodos automatizados, a execução é transferida para os artesãos (ARANTES, 2010, p. 186). A produção acaba sendo nesses casos mais híbrida, já que as formas únicas exigem um dos dois extremos: a automação digital flexível ou o artesanato (ARANTES, 2010, p. 187).

Para cada caso, é necessária a compreensão exata da extensão da tecnologia aplicável e a definição das concessões possíveis a partir dela, sob o risco de se cair em uma estética *high-tech* delirante, em descompasso com a realidade geral (não se trata aqui da “arquitetura de exceção”). Percebe-se que, de fato, a inovação tecnológica modifica as formas de produção e pode reduzir a importância da padronização rígida de componentes. Mas a liberdade em relação à padronização não soluciona todas as implicações trazidas pela singularidade do elemento; ao mesmo tempo, a flexibilidade de produção não libera a arbitrariedade da forma. Diante disso, a coordenação modular tem o potencial de associar flexibilidade e racionalidade – entendida conforme Rosso (1976) como eliminação da casualidade nas decisões.

Nos sistemas industriais fechados, em que elementos são pré-fabricados para aplicação específica, a automação pode viabilizar a customização para volumes de

produção menores. Porém, algumas soluções são mais eficientes do que outras e, conforme se demonstrou, à medida que a customização caminha para a singularidade total, outros desafios aparecem.

Os sistemas industriais abertos, que produzem componentes polivalentes, se beneficiam da automação de maneira menos ambígua. Nesse caso, a flexibilização se dá no contexto de uma linha de produção em que as variações são controladas para que a eficiência não seja comprometida. A seleção de tipos (ROSSO, 1976) torna-se menos necessária e as linhas de produtos podem combinar diferentes características pré-determinadas.

Desenvolvem-se também novos sistemas construtivos nos quais a solução técnica e os componentes de conexão são padronizados, mas os grandes elementos (materiais semiterminados) têm dimensões reguláveis, customizáveis ou ainda definidas no local. À medida que o aspecto dimensional se flexibiliza e a ênfase recai sobre os elementos de conexão, alguns autores (BALDAUF; GREVEN, 2007; KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009; ESPÍNDOLA, 2010) consideram que a coordenação modular evolui para o que chamam de conectividade. Esse é o aspecto investigado na próxima subseção.

5.3 ACEPÇÕES CONTEMPORÂNEAS

O termo conectividade aparece associado à coordenação modular em várias publicações nacionais desde o início deste século. Em geral, a palavra é usada para expressar a ideia de uma atualização da disciplina, ainda que nenhuma das referências consultadas se aprofunde na investigação de seu significado.

Baldauf e Greven (2007, p. 65) afirmam que, na Europa e na América do Norte, a coordenação modular foi efetivamente adotada já nas décadas de 1950 e 1960 e atualmente encontra-se incorporada na fabricação dos componentes, na formação de projetistas e no canteiro de obras. A disciplina teria então evoluído para a conectividade que, para eles, tem como característica maior liberdade para a customização dimensional decorrente de recursos informatizados, mas que continua a requerer a solução completa das condições de união entre componentes. Segundo

os autores, o “futuro indica uma evolução no desenvolvimento da conectividade entre os componentes, sempre levando em consideração que a Coordenação Modular é o fundamento de todo o processo” (BALDAUF; GREVEN, 2007, p. 66). Eles explicam também que, no Brasil, já em 2007 havia estudos relativos à conectividade, todavia não apresentam mais informações sobre tais estudos.

O relatório do projeto de pesquisa que precedeu em 2009 a revisão das normas nacionais de coordenação modular incluiu uma verificação do desenvolvimento recente da disciplina no cenário internacional. Nesse relatório, Kapp, Baltazar e Marcandier (2009, p. 12-13, 18) indicam que a evolução estaria associada aos temas de flexibilização, customização, conectividade e *open building*. Novamente, o relatório é sucinto, não se prolonga na descrição das observações feitas. A conclusão exposta pelos autores é a de que, nos países desenvolvidos, a coordenação modular é um princípio já incorporado e que as novas pesquisas agora a investigam como ferramenta para a redução do impacto ambiental associado à construção civil. Segundo essa abordagem, a coordenação modular se relaciona à racionalidade na aplicação de componentes industriais na primeira construção, mas também à flexibilidade no reaproveitamento de espaços e componentes ao longo da vida útil dessa mesma construção. Os autores consideram que, para isso, a coordenação é um pressuposto, mas não suficiente por si mesma. Sugerem que a pesquisa nacional deve buscar se atualizar, adotando uma abordagem mais ampla, relacionada à flexibilidade em longo prazo dos componentes e do espaço.

Ao mesmo tempo, há aspectos de rigidez e exclusão da coordenação modular tradicional que, em países onde a pesquisa a esse respeito está mais avançada, se tenta superar, inclusive mediante a admissão da combinação de componentes coordenados e não coordenados, ou até de técnicas tradicionais, artesanais, etc. Parece que as experiências dos últimos 40 anos deixaram claro que o simples enquadramento de todos os produtores num único padrão pode ser até alcançado mediante normas e legislações incisivas, mas, na realidade, não é desejável, porque elimina muitas alternativas (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, p. 13).

É interessante observar que o IV Colóquio de Pesquisas em Habitação – Coordenação Modular e Mutabilidade, organizado em 2007 pelo grupo MOM (do qual Kapp, Baltazar e Marcandier são integrantes), teve como os subtemas: **coordenação modular e conectividade; *open building*; módulo na arquitetura; mutabilidade, flexibilidade, adaptabilidade; modulação e complexidade**

espacial; tecnologias da informação e coordenação modular; componentes e produtos modulares; modulação na autoconstrução e na autoprodução (KAPP; BALTAZAR; MARCANDIER, 2009, p. 21-22). Os subtemas escolhidos contribuem para traçar um panorama dos conceitos que são hoje associados à disciplina.

A palavra conectividade associada à coordenação modular também tem destaque na dissertação de Espíndola (2010, p. 20-21, 26-27). A autora aponta a evolução dos elementos usados na construção civil, que passa a empregar componentes complexos industrializados a serem montados no canteiro. Explica que, se por um lado essa mudança torna os processos mais eficazes, por outro, faz com que a solução da união entre componentes seja determinante para a qualidade final da construção. Afirma ainda que em alguns países a ênfase da coordenação, que antes estava na posição e na dimensão das partes, transita para a conectividade entre elas.

Na coordenação conectiva, segundo a denominação de Cuperus (2001), a importância não está apenas na quantidade de elementos construtivos a serem utilizados, mas também na possibilidade de conectividade entre os diversos elementos e subsistemas. Com esse pensamento, a qualidade da edificação em geral não é apenas determinada pela qualidade das suas partes, mas também pela forma com a qual estas são reunidas e conectadas entre si. Para manter elevado o nível de qualidade, tais conexões devem estar bem definidas e coordenadas, pois só assim dois ou mais componentes serão posicionados na edificação sem a necessidade de adaptações ou retrabalho. (ESPÍNDOLA, 2010, p. 27)

Deve-se observar que, diferentemente do que fazem Baldauf e Greven (2007) ou Kapp, Baltazar e Marcandier (2009), Espíndola (2010) não menciona as possibilidades de customização trazidas pela produção informatizada ou a flexibilização no uso de componentes e espaços. O emprego que Espíndola faz do termo remete principalmente ao seu significado literal: a capacidade de um elemento se unir a outro. Ou seja, nesse sentido, conectividade seria simplesmente a resolução das juntas e uniões entre componentes. É possível induzir que a transferência de foco da coordenação modular à conectividade teria relação com a liberdade dimensional possibilitada pela customização informatizada, mas certamente isso não está explícito em seu texto. Por outro lado, a autora faz importante menção à Ype Cuperus (2001), que é professor, pesquisador e também diretor do OBOM *Strategic Studies*, entidade de pesquisa sobre *open building* que nasceu na Faculdade de Arquitetura da Delft University of Technology. Por meio

dessa referência, pode-se também supor que o emprego que Espíndola (2010) faz do termo conectividade seja influenciado pela pesquisa de Cuperus no campo de *open building*, assim como já havia acontecido em Kapp, Baltazar e Marcandier (2009).

O exame dos autores mencionados permite identificar três ideias distintas, ainda que muito relacionadas entre si, que se fazem presentes na análise das acepções contemporâneas da coordenação modular nacional e internacionalmente. Essas três ideias são:

- a) Resolução das condições de união entre componentes;
- b) Informatização e customização do objeto;
- c) Flexibilização e customização do processo.

5.3.1 Condições de união entre componentes

Conforme visto nas subseções anteriores, os novos recursos digitais de projeto são capazes de criar uma materialidade virtual que representa cada componente e também as relações entre eles. Não obstante, a materialidade do canteiro de obras, imprecisa e variável, não pode ser bem representada. Essa questão, no entanto, deve ser solucionada. A solução reside na previsão das juntas, conexões e tolerâncias definidas por meio de levantamentos empíricos e cálculos estatísticos para acomodar variações e movimentações que acontecem dentro de uma faixa prevista admissível.

É importante pontuar que a conectividade em seu sentido literal, de resolução das condições de união entre elementos, diz respeito a um princípio plenamente previsto pela coordenação modular. O estudo prévio da interface entre componentes e sistemas é uma condição básica para o bom desempenho da construção e a redução das adaptações em canteiro. É um pré-requisito de qualquer construção que utilize total ou parcialmente elementos produzidos com antecedência (sejam estes padronizados ou customizados) e que precisem ser unidos na construção.

Rosso (1976, p. 09-10, 149) já fazia essa investigação. Ele determinou três condições a serem observadas: a compatibilidade geométrico-dimensional, referente à aplicação do módulo-básico na determinação das medidas de coordenação; a

compatibilidade associativa, que provém da determinação do espaço para o ajuste de coordenação e do desenho das juntas; e a compatibilidade funcional, que trata do desempenho satisfatório do invólucro resultante. A solução das compatibilidades geométrica-dimensional e associativa é um problema complexo e importante; dela depende a compatibilidade funcional. Isso porque a união entre dois componentes, além de assegurar sua continuidade física visível, deve proporcionar a continuidade das propriedades que garantem o desempenho dos elementos principais, como estabilidade, resistência, estanqueidade à água e ao ar e isolamento termo-acústico.

Quando a união é formada por uma junta úmida preenchida com uma massa plástica e amorfa, a solução é mais simples (ROSSO, 1976, p. 147). Deve prever o ajuste de coordenação para acomodar o material de união, tolerâncias e deformações dos componentes. A movimentação e as variações dimensionais dos pequenos componentes são proporcionalmente pequenas, os esforços incidentes são reduzidos e podem ser acomodados por materiais mais ou menos rígidos.

Com a passagem da construção tradicional, em que predominam os componentes de pequenas dimensões, para a industrializada, que se caracteriza por componentes de médias e grandes dimensões, o número de juntas tende a diminuir, mas a sua complexidade aumenta (ROSSO, 1976, p. 158-159). A diminuição do número de juntas reduz as operações executadas *in loco* e, com isso, traz todos os demais benefícios inerentes ao método industrial. Por outro lado, resulta na concentração de tensões em um número reduzido de pontos e, conseqüentemente, esses pontos devem ser capazes de acomodar cargas e movimentos mais acentuados. "O problema dos movimentos assume, portanto, um aspecto cuja importância pode ser considerada proporcional ao grau de industrialização do edifício" (ROSSO, 1976, p. 159). Ou seja, ao aumentar o tamanho dos componentes, o grau de complexidade da união também aumenta.

Conforme descreve o autor (ROSSO, 1976, p. 157), no campo teórico nacional prevalecia o princípio segundo o qual a padronização das juntas deveria se realizar mediante o uso de componentes complementares ajustáveis (acessórios adaptadores) – um "terceiro componente" usado na conexão de outros dois. "Se o uso de componente complementar for previsto, os dois componentes principais serão desenhados, considerando-se que, um espaço próprio é exigido para o

terceiro", o que deve ser levado em conta na determinação da medida de coordenação dos dois componentes principais (ROSSO, 1976, p. 158). Sobre este princípio, Rosso (1976, p. 162) previa que se conduzisse na construção civil o desenvolvimento de “uma indústria própria do terceiro componente”.

De acordo com Rosso (1976, p. 158, 162), a determinação da junta deve decorrer do correto balanceamento das características mecânicas e funcionais. Ele destaca a importância da facilidade nas operações de montagem, que devem ser processos contínuos e, de preferência, que possam ser executados pela mão de obra do próprio construtor. Operações de montagem muito complexas, que exigem equipes especializadas, são caras e devem ser evitadas.

Espíndola (2010, p. 30-33) oferece uma visão atual, porém semelhante, sobre o mesmo problema da montagem. Explica que, “Quanto melhor definidos os elementos e subsistemas da construção e quanto mais claro é o entendimento sobre o processo de montagem destas partes, mais qualidade terá a edificação em razão do alcance da conectividade destas partes” (ESPÍNDOLA, 2010, p. 30). Para isso, menciona a importância do projeto de montagem e faz referência a Rozenfeld et al.⁶⁸ ao listar os princípios que o baseiam. De forma resumida, além de garantir o desempenho do produto, o objetivo é reduzir o número e a variedade de peças e operações. O controle da quantidade é necessário porque peças precisam ser armazenadas, manipuladas e posicionadas e terão entre elas pontos de conexão sujeitos a rupturas, ou seja, cada unidade constitui uma nova oportunidade para erros e defeitos. O controle da variedade é desejável porque a repetição auxilia no aprendizado do operador da montagem e na administração do estoque e fluxo de materiais. Na montagem, prevalecem questões de logística, gestão e capacitação de mão de obra, atividades que permanecem sendo fundamentalmente humanas.

Não seria adequado, portanto, afirmar que a conectividade seja uma novidade trazida pela informatização ou pela customização. A conectividade é um atributo comum, necessário a todos os sistemas de construção industrializados e completamente presente na coordenação modular. Entretanto, deve-se reconhecer

⁶⁸ ROZENFELD, H. et al. **Gestão do desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria de processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

que, no cenário contemporâneo em que a produção impõe cada vez menos restrições de forma e tamanho e permite maior variação para componentes, a compatibilidade geométrico-dimensional torna-se mais simples, mas a compatibilidade associativa, mais difícil, principalmente para que se possa garantir a compatibilidade funcional esperada para o invólucro.

5.3.2 Informatização e customização

Conforme visto na subseção 5.2, “Produção digital”, diante das possibilidades oferecidas pela produção informatizada, hoje padronização e customização são ambos processos importantes no método industrial.

A padronização continua sendo um motor para o crescimento do volume de produção. Um processo padronizado pode ser repetido, em geral, mais rapidamente e sob um custo menor. Isso acontece porque etapas físicas, como o ajuste de equipamentos ou da linha de produção, e mentais, como o treinamento e a resolução de problemas imprevistos, são eliminadas. Sobre isso, em 1976 Rosso já explicava que o método industrial se fundamenta na continuidade. A continuidade decorre de organização, previsibilidade, simplificação, especialização, divisão de trabalho e normalização; sua consequência é a repetição (ROSSO, 1976, p. 07).

A customização em massa, paradigma pós-fordista, foi definida por Joseph Pine como a produção em massa de bens e serviços customizados individualmente, assim oferecendo um enorme aumento na variedade sem aumento de custo correspondente (PINE, 1993⁶⁹ apud KOLAREVIC, 2003, p. 52). A customização se refere, por um lado, à adaptação do resultado às necessidades de um indivíduo ou grupo e, por outro à diferenciação que traz a um produto um valor proveniente de sua singularidade em relação a um contexto, não necessariamente a seus atributos próprios. Praticamente todos os segmentos da indústria foram afetados em algum grau pela customização (KOLAREVIC, 2003, p. 52), que tem importante papel na competitividade dos produtos na sociedade de consumo atual.

⁶⁹ PINE, Joseph B. **Mass Customization**: The New Frontier in Business Competition. Boston: Harvard Business School Press, 1993.

Uma vantagem expressiva trazida por essas possibilidades de customização na construção civil é a produção individualizada de grandes componentes, como elementos estruturais e painéis de vedação. Conforme explicitado por Rosso (1976, p. 6), um princípio original da coordenação modular era que o aumento do tamanho de componentes e a diminuição do número de juntas reduziam a flexibilidade do sistema. A razão disso, facilmente compreensível, é que números menores têm entre seus múltiplos inteiros uma diferença também menor, isto é, componentes menores quando repetidos possibilitam séries dimensionais com intervalos menores. Porém, as mudanças na produção industrial reestabelecem a flexibilidade, porque os grandes componentes podem sair da indústria já com comprimentos customizados conforme a necessidade do projeto. Este é o caso simples, por exemplo, das estruturas metálicas e de concreto pré-fabricado.

Em um limite extremo, é possível admitir a ausência de qualquer padronização formal ou dimensional. Os arquitetos que impulsionam essas transformações argumentam que os condicionantes técnicos e econômicos que direcionavam a escolha de certas formas e sua repetição deixaram de ser determinantes e que uma nova liberdade formal é a expressão adequada para comunicar o espírito técnico e ideológico contemporâneo.

Kolarevic (2003, p. 3, 13), claramente adepto desta linha, observa que as tecnologias digitais estão transformando a atividade da arquitetura em um grau totalmente inesperado. Os softwares de criação e modelagem digital são mais capazes de processar informações não ortogonais e permitem todo tipo de morfogênese. Ao tratar de algumas das variadas linhas teóricas e práticas que compartilham dessa visão, ele cita investigações nos campos da topologia, geometrias não euclidianas, sistemas dinâmicos e cinéticos, algoritmos “genéticos” (que evoluem), superfícies isomórficas, programação paramétrica e avaliação de desempenho. Sobre a concepção de projetos, ele explica que os diferentes processos de morfogênese computadorizada têm em comum o fato de que a informatização não é apenas uma ferramenta de representação, mas tem coautoria nos trabalhos. Ao invés de pré-estabelecer um partido, o projetista constrói um sistema de geração da forma, controla seu comportamento e seleciona os resultados que são produzidos a partir da operação. Nesse modelo de projeto, o sistema de influências, relações, limites e regras é definido inicialmente, e resulta em algumas

opções que são submetidas a novos processos de transformação. O resultado é obtido através da ação do arquiteto de interpretar e manipular a construção computacional em um discurso complexo que está continuamente se retroalimentando. Para Kolarevic (2009, p. 26-27), é precisamente essa habilidade de encontrar formas inesperadas mediante organizações dinâmicas, não lineares e indeterministas que dá às mídias digitais um papel diferencial na criação.

Kolarevic explica que as novas oportunidades para a concepção de formas complexas acontecem também devido ao que chama de “*digital continuum*”, que é a integração entre projeto e construção obtida pela interoperabilidade dos meios eletrônicos usados nas duas etapas. Isso significa que, conforme explicado nas seções anteriores, é possível usar os modelos tridimensionais de projeto para exportar dados necessários para o equipamento usado na execução do componente construtivo. Em teoria, etapas de representação bidimensional e de interpretação de desenhos são eliminadas. As representações bidimensionais (plantas e cortes) podem ainda ter uma função analítica, mas, nesses casos, não fazem parte do processo generativo da forma. Na interpretação de Kolarevic (2009, p. 13), o fato de que a forma nasce tridimensional e permanece tridimensional até a execução está diretamente ligado à mudança da concepção e ao resultado formal. Disso resulta que, segundo ele, ferramentas de ordenação tradicionalmente associadas às representações bidimensionais – malhas, repetições, simetrias e modularidade – perdem sua razão de ser.

Essa avaliação de Kolarevic é provavelmente uma distorção parcial ou, no mínimo, exagerada. Todavia, deve-se reconhecer que, em se tratando de composição espacial e geometria, a coordenação modular é apenas uma forma de aproximação do problema; certamente existem outras. O pensamento arquitetônico foi tradicionalmente baseado na geometria euclidiana e no entendimento do espaço em duas e três dimensões. Porém, o avanço científico em várias áreas empresta à arquitetura outras teorias que abrem o campo de possibilidades a uma série de formas e relações que não pertencem ao seu repertório empírico. Kolarevic lembra que a matemática e a física demonstraram que o espaço não é apenas curvo, mas multidimensional, e menciona, dentre outros, o conceito introduzido por Bernhard Riemann de que a geometria plana é apenas uma situação especial intermediária

em uma escala de curvatura negativa à positiva (BONOLA, 1955⁷⁰ apud KOLAREVIC, 2009, p. 14-15).

Quando o foco da avaliação se transfere para a racionalidade da produção, a padronização continua sendo uma solução eficiente para atender alguns objetivos; para outros, a variação dimensional é tanto possível quanto desejável. Kolarevic (2009, p. 26-27) observou que, no papel de editor da forma que o arquiteto assume no processo digital, é definitiva uma sensibilidade estética para selecionar o que é desejável dentre os resultados possíveis. Porém, considera-se aqui que a sensibilidade necessária (ou o senso crítico), além de estética, é técnica para que se conheçam os motivos e limites característicos em cada caso e se usem adequadamente as ferramentas disponíveis. O risco é que a estética digital, tal como descrita por Kolarevic, se justifique por novos meios de produção que nem sempre emprega. Arantes (2010, p. 186) lembra que as condições do mercado de trabalho e de remuneração na construção civil em cada lugar é o que acaba por determinar a extensão da aplicação dessas novas tecnologias. Quando elas não se mostram econômica ou tecnicamente vantajosas, a complexidade formal é obtida por um trabalho excepcionalmente artesanal, caracteristicamente medieval, oposto aos valores que esta arquitetura digital anuncia.

Os exemplos dessa geração de projetos digitais têm entre si muitas diferenças. Alguns dos processos de morfogênese usam a tecnologia para manipular a forma com um foco essencialmente escultórico. Ideologicamente, essa arquitetura recorre a outras disciplinas – à matemática, à física, à química, à biologia, à filosofia, etc. – para encontrar lógicas a serem incorporadas na programação complexa da morfogênese. Com frequência, a incorporação dessas formulações teóricas é superficial, pois apenas serve para responder a uma demanda pelo fetiche da transgressão aparente (ARANTES, 2010, p. 139-141). Em outros casos, os dados imputados têm relevância para a totalidade do programa do edifício. Assim o são, por exemplo, as soluções baseadas em simulação de desempenho desenvolvidas pela empresa londrina de engenharia e projetos Arup. Nesses casos, os parâmetros de programação não são decalques randômicos, são fatores que os projetistas já

⁷⁰ BONOLA, R. **Non-euclidean geometry: a critical and historical study of its development**. Nova York: Dover Publications, 1955.

sabiam ser interconectados com resultados desejados, mas que, por terem variáveis muito complexas, não podiam ser satisfatoriamente processados sem as ferramentas digitais (KOLAREVIC, 2009, p. 282).

Diante das diferentes manifestações da arquitetura digital, a generalização feita sobre a coautoria assumida pelo computador na morfogênese é uma das poucas possíveis, mas não é a única. É também admissível reconhecer que elas compartilham uma expressão visual inflada, imediatamente impactante, que tem características comuns com os objetos de consumo, com a mídia digital e com a publicidade.

As transformações [...] não são decorrentes de um único fator, como a informatização do desenho, mas de um conjunto de acontecimentos mais ou menos simultâneos: a ascensão do regime de acumulação dominado pelas finanças e pela renda; a organização em rede e a acumulação flexível da produção pós-fordista, com mudanças no mundo do trabalho; a derrocada do bloco socialista, a crise do *welfare* e o aumento das desigualdades sociais; as novas formas de hegemonia norte-americana; a difusão das novas tecnologias digitais e da informação; a consolidação de uma virada epistemológica nas ciências, na linguística e na filosofia, etc. (ARANTES, 2010, p. 97)

A avaliação geral feita por Arantes (2010) é a de que as formas complexas valorizadas por sua singularidade são paradigma da cultura e da economia atuais, particularmente na maneira como representam a renda e o luxo. Não é o objetivo desta dissertação estabelecer qualquer juízo de valor sobre essa arquitetura. Mas é necessário reconhecer que, justamente por ter a exceção como fator determinante de sua reputação, não pode ser tomada como modelo hegemônico para a construção, especialmente em realidades como a brasileira.

A customização cria não só novas oportunidades, mas também novos tipos de problema. Conforme explicado, a padronização continua a favorecer a eficiência, principalmente nas atividades humanas de projeto e no canteiro. Os processos mecânicos e robotizados podem incorporar variações programáveis na execução, mas, normalmente, o projeto, o detalhamento e inclusive a programação ainda requerem o trabalho humano individualizado. A repetição de detalhes técnicos no projeto de arquitetura, por exemplo, é desejável porque permite que uma obra seja o protótipo da obra seguinte, aprimorando questões de desempenho e evitando anomalias. Da mesma forma, a construção industrializada continua ainda a requerer

o trabalho humano nos processos de montagem. Nessas etapas de trabalho humano, a variação é contrária ao treinamento, reduz o ritmo de trabalho e aumenta a possibilidade de erro. Detalhamento e especificações técnicas, programação dos processos digitais, coordenação de obra, montagem, manutenção e substituição de componentes continuam, em diferentes graus, se beneficiando da repetição. É interessante que os pontos críticos da construção, que exigem solução de interface em projeto e conexões manuais na obra, mantenham um padrão reproduzível, mesmo que a forma e a dimensão dos elementos que preenchem o espaço entre pontos críticos possam gozar de maior liberdade mediante a customização.

5.3.3 Flexibilização e customização

Uma segunda forma de abordar a customização é interpretá-la como variabilidade ao longo de um processo de tomada de decisões e não como singularidade da forma. Assim, a customização pode ser conseguida mediante diferentes combinações de elementos standardizados e, principalmente, pela flexibilidade na aplicação desses elementos durante a construção e a vida útil do edifício.

A mesma expressão “customização em massa” usada para tratar da liberdade formal proporcionada pelos processos digitais é também empregada por diferentes autores para significar componentes e sistemas modulares que podem ser decompostos e recombinaados de forma a melhor satisfazer as necessidades dos clientes. Ela está presente nos artigos de Cuperus (CUPERUS, 2001; CUPERUS; OBOM; DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2003), Nijs, Durmisevic e Halman (2011) e conceitualmente nas explicações de Kapp, Baltazar e Marcandier (2009, p. 13). Essa flexibilidade atende à construção, atende às demandas do mercado e não é exatamente uma novidade. Sobre ela, deve-se fazer referência às pesquisas de Habraken e do SAR iniciadas na década de 1960 (já mencionadas nas seções anteriores) e, nas décadas seguintes, ao *open building*.

Open building, que é um desenvolvimento da Teoria dos Suportes de Habraken, propõe o projeto do edifício dividido em sistemas independentes, reconhecendo os elementos que devem estar sob a responsabilidade de diferentes intervenientes e que têm diferentes ciclos de duração. Assim, cria condições para mudanças que ultrapassam as definições feitas na primeira construção e encoraja os usuários a

assumirem responsabilidade pela adaptação e manutenção de seu próprio território. Essa subdivisão pode ser traduzida em especificações para conexões entre as partes da edificação que permitam o grau adequado de independência entre os elementos, na montagem e na desmontagem. Pressupõe utilizar sistemas industrializados com interfaces bem definidas, coordenação de dimensões e posição, e evitar adaptações improvisadas e desperdício (CUPERUS; OBOM; DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2003, p. 297-300).

No início de seu artigo de 2001, Cuperus estabeleceu conexão à Habraken ao afirmar que a origem do conceito de *open building* está bem capturada na frase do autor – “We should not to forecast what will happen, but try to make provisions of the unforeseen” (HABRAKEN, 1961⁷¹ apud CUPERUS, 2001, p. 2). A citação demonstra o propósito de introduzir flexibilidade no processo construtivo. Segundo Cuperus e Napolitano (2005, p. 457-458), na década de 1960, em todos os lugares exceto na Holanda, a coordenação modular era principalmente usada como estratégia para produção seriada. Na Holanda, Habraken introduziu o método de projeto que a aplicava para tornar a infraestrutura fixa da construção independente de seu preenchimento customizável. Cuperus e Napolitano também fazem referência a Van Randen, que posteriormente explorou mais a fundo esse método de dissociação (VAN RANDEN, 1978⁷² apud CUPERUS; NAPOLITANO, 2005, p. 457-458).

A transcrição da palestra de Van Randen intitulada “*Nodes and Noodles*” dada em Eindhoven, na Holanda, em 1976 (VAN RANDEN, 1978), mostra como as bases lançadas por Habraken continuaram evoluindo no país, ainda muito conectadas à coordenação modular.

Em uma análise que parece estranhamente atual, Van Raden (1976, p. 2) observava uma aceleração no ritmo das transformações no estilo de vida, nos padrões de consumo e nas possibilidades oferecidas pela tecnologia. Entendia que essa variabilidade deveria ser tomada como a nova realidade do mundo e que a arquitetura tinha que aprender a acomodá-la, trabalhando a partir da premissa da indeterminação.

⁷¹ HABRAKEN, N. J. **Supports**: an Alternative to Mass Housing. Londres, 1972.

⁷² RANDEN, A.van. Nodes and Noodles, **Open House**, Eindhoven, p. 8-31, 1978.

Simultaneamente, ele observou que a multiplicidade das considerações a serem feitas na construção estava cada vez mais presente e trazia novos desafios. O crescimento do mercado imobiliário como setor de exploração econômica dividia o consumidor da arquitetura em duas categorias – o investidor e o usuário final –, cada uma com seus próprios interesses e conceitos de valor. Na construção, outra dicotomia se formava – esta entre a produção no canteiro e a produção na indústria. Para o projeto, novas especialidades se proliferavam a partir de avanços de conhecimento técnico e acrescentavam suas próprias demandas ao processo. De forma parecida ao que se deu no Brasil, o autor relatou que na Holanda, até os anos 1950, a equipe de profissionais tinha uma estrutura única e centralizada, e que, à medida que a arquitetura e o design se consolidavam como áreas independentes, se separavam da materialidade da construção. Ele demonstrava preocupação com a setorização excessiva do conhecimento, perguntava-se o que fazer para integrá-lo e a que interesses cada interveniente estava servindo.

A partir dessas observações, ele teorizou o “efeito espaguete” – uma dinâmica emaranhada de relações entre diferentes agentes com efeito negativo em que, quando uma ponta é puxada (ou seja, uma demanda acontece), pode causar efeitos imprevisíveis sobre todo o conjunto (VAN RADEN, 1976, p. 11-14). Essa ideia ele ilustrou no esquema reproduzido a seguir (Figura 58).

Figura 58 – O efeito espagete conforme Van Raden

Fonte: adaptado de Van Randen (1976, p. 11-12).

Ele reconheceu a realidade dinâmica das demandas, a complexidade dos interesses envolvidos e, principalmente, a necessidade de, dentro disso, deixar espaço para as decisões do usuário final sem prejudicar o fluxo da produção. Seus objetivos têm em comum a fragmentação do processo de tomada de decisão e dos objetos sobre os

quais as decisões são tomadas. Ou seja, ele propôs dissociar as decisões, tornando-as independentes (VAN RANDEN, 1976, p. 15).

Paradoxalmente, explicou Van Randen, essa dissociação funciona por meio de alguns acordos, pela definição de “regras do jogo”. Nota-se aqui um tema recorrente em vários momentos desta dissertação – a liberdade é um exercício que se realiza com regras. As regras dizem respeito aos aspectos comuns que interessam a mais de um agente na tomada de decisões. Para que não se tornem restritivas, devem ser definidas minimamente – o acordo é somente necessário nos contornos, nas interfaces. Van Randen ilustrou essa explicação com o exemplo da Figura 59:

Figura 59 – Padronização de interface x variedade de produtos

É conveniente a estandardização do soquete das lâmpadas para que qualquer lâmpada sirva a qualquer luminária (e vice-versa), todavia, não há necessidade alguma de que os bulbos sejam estandardizados.

Fonte: adaptado de Van Randen (1976, p. 16-17).

O autor deu ainda outro exemplo. Ele contou que na época, na Holanda, as escadas de madeira usadas nas habitações de interesse social eram elementos pré-fabricados, havendo dois modelos estandardizados por normas técnicas precisas. Entre os dois modelos – escadas retas e em L – existia uma diferença no espaço

necessário: as escadas em L demandavam uma abertura mais larga na laje do pavimento. Consequentemente, as decisões sobre a estrutura da casa estavam condicionadas à escolha do modelo de escada a ser usado. Por outro lado, o layout da casa, que idealmente deveria ser definido pelo usuário final, também influenciava a escolha do modelo de escada. Havia, portanto, um conflito entre o fluxo desejável de decisões sob a perspectiva do usuário final:

LAYOUT (usuários finais) → ESCADA (indústria) → ESTRUTURA (projetista e construtor)

e o fluxo resultante do processo produtivo:

ESCADA (indústria) → ESTRUTURA (projetista e construtor) → LAYOUT (usuários finais).

A padronização das escadas considerava sua solução isolada, como um objeto qualquer industrializado. Não havia um raciocínio baseado no processo de tomada de decisões na construção (VAN RANDEN, 1976, p. 16-17). Tendo como objetivo um processo eficiente de tomada de decisões, teria sido melhor padronizar os requisitos espaciais da escada e o ponto onde ela se fixava na estrutura do pavimento. Isso permitiria que o vão se tornasse independente da escolha da escada. Poderia haver mais modelos de escada, os quais poderiam ser instalados ou trocados pelo morador a qualquer momento, sem grande impacto no restante da edificação (Figura 60).

Figura 60 – Padronização de produtos x padronização de requisitos

Fonte: adaptado de Van Randen (1976, p. 16-17).

A reflexão que se estabelece aqui é a mesma explicada por Krislov (1997, p. 19-20) sobre a diferença entre padrões de desempenho e padrões prescritivos. Padrões de desempenho, que não congelam características nos produtos, são melhores para garantir resultados sem desencorajar a variedade. Van Randen explica (1976, p. 17)

You see: changing the objectives changes the specifications, which in turn changes the standard. What we want to do is standardize the technical boundary conditions and not the product. Not the "solution". Fix the boundary conditions. Leave the product, the solution free. Free to adapt to developments in demand and technical possibilities. Within the boundary conditions. A balance between freedom and restrictions. [...] Two important boundary conditions proved to be: space requirements and joints.

Apenas dois acordos são necessários para a compatibilização do contorno: o tamanho ocupado pelos componentes (porque dois objetos não podem ocupar o mesmo lugar) e a união entre eles. Sobre as uniões, Van Raden ainda sugere que, se possível, deve-se trabalhar com soluções não engastadas, usando apoios simples e conexões flexíveis. É interessante, entre objetos de diferente procedência, evitar juntas com encaixe específico. As conexões rígidas também não são sempre necessárias. Para desemaranhar o espagete de decisões é necessário dissociar o que não precisa estar associado (VAN RANDEN, 1976, p. 18) e direcionar o interesse às conexões onde as várias decisões têm que ser combinadas (VAN RANDEN, 1976, p. 21).

A dissociação de decisões dá oportunidade para que o usuário final tenha controle sobre o produto, sem que atrapalhe a racionalidade do fluxo produtivo. Retomando a definição de customização apresentada anteriormente – adaptação do resultado às necessidades de um indivíduo ou grupo –, vê-se que a lógica está absolutamente coerente com esse objetivo, ainda que, nessa interpretação, a singularidade da forma não seja especialmente perseguida.

Van Randen (1976, p. 19), corroborado por Milton (1980, p. 84), relata que o raciocínio por ele apresentado e fundamentado nos trabalhos do SAR baseou a norma técnica holandesa para coordenação modular que seria publicada no ano seguinte – a NEN 2880:1977⁷³. Sobre ela, Van Randen prevê, e Milton posteriormente confirma, que trazia uma abordagem significativamente nova para a disciplina. Nela, a construção estava dividida em grupos de elementos, cada qual a

⁷³ NEN 2880:1977 Coordenação modular na construção – terminologia e regras para a determinação da locação e do dimensionamento de elementos modulares. Título original em holandês: *Modulaire coördinatie bij het bouwen – Begripsom-schrijvingen en regels voor de plaats – en maat – bepaling van modulaire elementen*. Esta norma foi seguida pela NEN 2883:1978 *Modulaire coördinatie bij het bouwen - Woningen* e, posteriormente, substituída pela NEN 6000:1986 *Modulaire coördinatie voor gebouwen*, que permanece em vigor.

ser posicionado segundo parâmetros pré-definidos sobre uma retícula tartã. Tais grupos, segundo Van Randen (1976), são definidos pela verificação de alguns critérios comuns:

- Simultaneidade de decisões – todas as decisões de um mesmo grupo podem ser tomadas na mesma fase?
- Ciclo de duração – todas as decisões de um mesmo grupo são válidas por um mesmo período de tempo?
- Intervenientes envolvidos – o número de intervenientes envolvidos nas decisões desse grupo é o menor possível?
- Produção – a produção eficiente para os vários elementos de um grupo é possível?

Assim, na coordenação modular que Van Randen defende, a padronização das dimensões dos produtos industriais (ainda presente) é menos importante do que a estruturação de um processo que permita flexibilidade na aplicação desses produtos:

Modular coordination rather than standardization of dimensions. Aimed first at the process, and only then at the product. Every significant shift in approach. [...] Space requirements, connections, coordination of place and dimensions, element groups, levels. All concepts which could help us to give a new structure to the decision-making process. (VAN RANDEN, 1976, p. 20)

Na verdade, quando Cuperus (2001, p. 4) descreve a mudança na ênfase da coordenação dimensional dos anos 1970 para a regulação da interface entre partes construtivas dos anos 1990, ele está se referindo às transformações desencadeadas por esse raciocínio e não pelo desenvolvimento tecnológico dos meios de produção digital. Tal fato pode ser verificado pela referência que o autor faz às normas holandesas de coordenação modular, NEN 2880:1977 e sua sucessora, NEN 2883:1978, apontadas como a materialização das propostas do SAR.

Sob a perspectiva da reprodução do capital, diferenciar e conceder autonomia para os responsáveis pelas diferentes demandas reduz as incertezas e os riscos envolvidos na construção (CUPERUS; NAPOLITANO, 2005, p. 457-458). Quando o mercado transita de um excedente de demanda para um excedente de oferta, para que a construção se mantenha competitiva, é preciso focar em atender as

necessidades dos clientes. Ainda, para maximizar a relação satisfação/custo, é importante que não haja desperdício, ou seja, que os recursos sejam precisamente direcionados da demanda o usuário final. Contudo, a interferência direta do consumidor durante a construção tem o potencial de desorganizar e até interromper o fluxo produtivo. Ademais, considerando as possíveis transformações no cenário econômico que podem acontecer durante o período de construção, é muito difícil precisar a demanda exata que existirá no momento da venda (CUPERUS; OBOM; DEFLT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2003, p. 297-300). Portanto, é nítida a necessidade de flexibilidade na solução para que as demandas possam ser tratadas em seu próprio tempo. Nesse sentido, um método que possibilite a customização futura da construção é muito mais efetivo para resolver o potencial conflito entre consumidor e construtor do que a customização formal que, passado o momento da primeira construção, pode se revelar completamente rígida.

Sobre isso, é interessante mencionar um artigo de 2005 de Cuperus e Napolitano (CUPERUS; NAPOLITANO, 2005) que trata da aplicação dos princípios de *open building* e *lean construction*⁷⁴ no contexto brasileiro. Os autores observaram que aqui, devido a um cenário econômico excessivamente instável, muito esforço é desperdiçado em retrabalhos de planejamento, projeto e construção conforme às demandas que mudam durante o período de estruturação e execução de um empreendimento. A situação é exemplificada com o relato de um caso ocorrido seis anos antes da elaboração do artigo (ano 2000), em um edifício de apartamentos direcionados a jovens de alto padrão aquisitivo em São Paulo. Depois de finalizada a construção, o edifício estava totalmente inadequado à demanda do mercado que havia mudado com o estouro da bolha especulativa das empresas de tecnologia. O problema aconteceu porque as unidades não podiam ser convertidas facilmente em apartamentos com mais dormitórios para outro perfil de consumidor. Diante dessas circunstâncias, os autores explicam, a estratégia mais econômica – não necessariamente a mais barata, mas a que é eficaz na produção de valor – é

⁷⁴ O *Lean construction* é derivado do *lean production*, um conceito de gerenciamento da produção que objetiva reduzir desperdício direcionando os esforços produtivos ao atendimento específico da demanda do usuário (CUPERUS, 2003, p. 297-300).

produzir soluções flexíveis, passíveis de adaptação. No caso de um novo empreendimento, posterior ao exemplo mencionado, foi adotada uma estratégia diferente, com um projeto mais adaptável de solução estrutural, de instalações e compartimentação interna. Conforme relatam os autores, essa dissociação foi um elemento valorizado no momento da venda das unidades, já que os apartamentos podiam ser adaptados por aproximadamente 20% do custo das reformas normalmente feitas em unidades tradicionais (CUPERUS; NAPOLITANO, 2005, p. 461-462).

A abordagem de Cuperus e Napolitano, que trata da flexibilidade como instrumento para produção de valor e competitividade em cenários de desaquecimento do mercado imobiliário, é útil principalmente quando se considera o atual momento da economia nacional. Demonstra como, em um período de desaceleração econômica, é conveniente aliar a coordenação modular a qualidade, flexibilidade e economia, sendo esta última não o barateamento, mas a concentração de esforços para atender às características essenciais da construção sob a perspectiva do usuário. Mas é preciso lembrar constantemente que, se o objetivo primeiro da construção (como concordam Habraken, Van Raden e Cuperus, para mencionar alguns autores) é o atendimento do usuário final, seria uma lógica perversa interpretá-la exclusivamente sob a ótica da reprodução do capital. A eficiência no processo e a flexibilidade do produto são extremamente necessárias para a qualidade do ambiente construído, principalmente porque a rigidez das soluções é agravada pelo comum problema da miniaturização dos espaços. Além disso, novamente levando em conta a realidade nacional para habitações de interesse social, esse modelo, que reconhece tanto a esfera pública de responsabilidade na providência do suporte quanto a esfera privada em relação à apropriação do espaço, é extremamente compatível com as atividades de autoconstrução, características da dinâmica social e espacial de determinados grupos. Tais atividades se perdem com soluções arquitetônicas absolutamente rígidas em sua uniformidade.

5.3.4 Observações finais

Conforme se viu, o desenvolvimento atual da coordenação modular, expresso por alguns autores como conectividade, também é representado em outros conceitos correlatos, como customização, flexibilidade, *open building* etc. Procurou-se

demonstrar que tais conceitos não são propriamente novos, pois todos têm raízes em investigações já presentes nas décadas de 1960, 1970 e 1980, na reavaliação das características da segunda Revolução Industrial. Algumas investigações são diretamente direcionadas à coordenação modular, outras são capazes de se sustentar de forma independente. Mas nenhuma delas implica uma ruptura estrutural da teoria da disciplina; as investigações coexistem e se reforçam mutuamente. Pode-se dizer que o amadurecimento não transforma a coordenação modular em outra coisa nem a torna obsoleta, mas evidencia que ela compartilha princípios com outros sistemas de organização espacial e da produção.

Deve-se reconhecer que, com o avanço da tecnologia, surgem também outras formas de dialogar com a industrialização da construção. Porém, a produção digital não é capaz de eliminar toda a necessidade de padronização para todas as tipologias e programas da arquitetura. Isso significa que há casos em que em a liberdade da forma pode vir a imperar e casos em que a coordenação modular deve tomar parte. O denominador comum, em se tratando de produção industrial, é a atenção ao problema das juntas entre componentes.

Ao mencionar a conectividade, o livro de Baldauf e Greven (2007) indica que a informatização das etapas de projeto de produção permite a evolução da padronização em direção à customização, o que, por sua vez, tem impacto sobre a aplicação da coordenação modular. Porém, o que a pesquisa desenvolvida indicou é que essa customização pode se manifestar tanto na liberdade de forma, dimensão e singularidade do componente construtivo quanto na flexibilidade da solução arquitetônica, para que adaptações sejam possíveis ao longo dos ciclos de produção e uso. A condição mais natural para a racionalidade da construção, justamente como apontam Kapp, Baltazar e Marcandier (2009), são soluções híbridas, que aproveitem os dois tipos de interpretações conforme as condições técnicas e programáticas específicas.

Nesse caso, é perfeitamente coerente um sistema de modular de referência que coordene um conjunto de grandes elementos customizados, pequenos elementos seriados, e vínculos mecânica e funcionalmente eficientes, montados em operações simples na obra. Surge, então, uma postura intermediária que consiste na mistura da

padronização com a customização para minimizar desperdícios e maximizar a satisfação. Sua essência é a dissociação, o pensar global e o agir local.

Uma última consideração a ser feita sobre o uso do termo conectividade e palavras afins para expressar a evolução da coordenação modular diz respeito ao risco de que se constitua um neologismo – uma nova forma de comunicar ideias antigas – e que isso decorra da distorção do significado atribuído à expressão original: coordenação modular. À medida que a coordenação modular se afasta de seu conceito inicial – coordenação dimensional – e tem aplicações ultrarrígidas, excessivamente associadas à padronização decimétrica e à paginação de elementos como, por exemplo, blocos de alvenaria, o conceito original fica órfão de uma palavra que o represente. Nesse caso, conectividade é uma expressão que se torna necessária para cobrir o vazio que a distorção da coordenação modular deixa.

6 PROJETO MODULAR

A presente seção aborda os instrumentos para a implementação da coordenação modular procurando incorporar os aspectos investigados nas seções anteriores. Para tanto, buscam-se métodos que associem os padrões e as referências demandados pela industrialização e a liberdade necessária para a flexibilidade do projeto, da produção e da ocupação das construções.

Conforme as referências consultadas, a solução envolve o entendimento da coordenação modular como um sistema aberto. Isso significa que existe um fluxo ideal de definições que parte do amplo para o específico e que torna as abordagens diretamente focadas em uma ou outra solução técnica, se tomadas isoladamente, insuficientes para a totalidade do problema. Diante disso, discute-se a questão das abordagens segmentadas, focadas nos objetos e não nos objetivos, e propõe-se a estruturação de um processo lógico de tomada de decisões, que permita a livre aplicação desses mesmos objetos.

Tomando a coordenação modular como atividade que tem início na estruturação do processo de projeto e que deveria estar sob domínio da arquitetura, apresentam-se os principais instrumentos que, na atividade de concepção, permitem estruturá-la.

As reflexões feitas indicam que o problema da segmentação está associado ao afastamento do arquiteto como coordenador das decisões e a progressiva cessão desse papel a agentes que têm outros objetivos primários que não a satisfação do usuário. Nesse contexto, procede-se um relato histórico que trata da separação progressiva das especialidades de projeto e produção, e da evolução das técnicas de construção como instrumento para reprodução do capital. O relato contribui para a análise do papel dos agentes que conduzem o direcionamento da disciplina, com destaque para o potencial de ação que poder público tem nesse sentido.

6.1 ABORDAGEM SISTÊMICA

As investigações estabelecidas nas seções anteriores destacaram duas formas essenciais de aproximação do problema da coordenação modular. Uma sob o ponto de vista da lógica produtiva, e outra sob o ponto de vista da concepção espacial para resolução de problemas de ordenação, estéticos, funcionais e de atendimento às necessidades dos usuários.

Os autores consultados usam formas diferentes de trazer à luz a variedade de requisitos que recaem sobre a coordenação modular. Rosso (1976, p. 1, 5) o fez lembrando que o entendimento do módulo, submetido às necessidades humanas e também da produção, passa por três estágios sucessivos: o módulo-função, o módulo-forma e o módulo-objeto. O módulo-função mede o espaço necessário a uma atividade humana. O módulo-forma determina o contorno do espaço ocupado na somatória de atividades, trazendo também considerações sobre ritmo e proporção. Finalmente, o módulo-objeto concretiza o invólucro compatibilizando módulo-função e módulo-forma. Tal desenvolvimento, segundo Rosso (1976, p. 5) “segue a lógica da concepção arquitetônica: a função gera a forma e a forma concretiza o objeto arquitetônico”, ou seja, o comportamento estabelece interfaces, a que a geometria dá a forma e a construção dá o contorno tangível.

Em vários momentos, notou-se que uma preocupação comum é a determinação de uma estratégia que equilibre acordos convenientes para a organização do projeto e da produção e a flexibilidade necessária para que não haja congelamento tecnológico, interrupções no fluxo produtivo, comprometimento da resolução estética e obsolescência tipológica, esta última entendida como incapacidade da construção de adaptar-se às necessidades físicas, sociais e psicológicas dos usuários. Em outras palavras, a industrialização da construção deve acontecer por um método que deixe livre o setor produtivo para empregar técnicas que lhe forem eficazes, livre o arquiteto para compor e livre o usuário para ter o que é adequado ao seu modo de vida.

No Brasil, Rosso (1976, p. 6, p. 63), ao tratar da liberdade, apontou que nos estudos de coordenação modular a abordagem deve ser flexível, voltada para o problema específico. Ele definiu tal flexibilidade como a capacidade de “compatibilizar o maior

número possível de combinações diferentes de módulos-função e módulos-forma" (ROSSO, 1976, p. 6).

Na Holanda, Habraken (2000) com o grupo SAR e a Teoria dos Suportes e, posteriormente, Van Randen (1978) com o OBOM e o Open Building, trabalharam a partir do reconhecimento dos diferentes intervenientes e níveis de tomada de decisão envolvidos na edificação, o que incorporavam como dado no processo projetual. Aplicavam a coordenação modular fundamentalmente como forma de acomodar os aspectos indeterminados e mutáveis durante o processo produtivo e também no período pós-ocupação.

Na Itália, também a partir da década de 1960, outra investigação seguiu paralela. O método, chamado de metaprojeto da construção, foi introduzido por Giuseppe Oliveri em seu livro de 1968, e também por Giuseppe Ciribini (1976) em um artigo originalmente publicado na revista *Prefabbricare* no mesmo ano. Nesse caso, também se trabalhou diante do desafio da aplicação de componentes industriais seriados para uma construção que deve que se manter flexível. Os dois autores, é interessante pontuar, fazem referência ao conceito anterior – metadesign –, desenvolvido em 1963 pelo desenhista industrial holandês Andries van Onck que então trabalhava na Itália⁷⁵. O prefixo “meta”, que forma as expressões, indica, neste caso, um exercício de abstração de um determinado conceito em direção a seus fundamentos gerais. Se um dado projeto é concebido para um caso específico, seu “metaprojeto” seria sua generalização fundamental aplicável a qualquer contexto (VASSÃO, 2008, p. 89).

Oliveri (1968, p. 137-138) fez referência a Van Onck ao escrever que qualquer projeto corre o risco de permanecer em crise contínua se não tiver a capacidade de absorver modificações e variações que lhe sejam impostas. Ele lembra que os motivos para tais intervenções sucessivas no projeto e na produção são os mais variados: flutuações no mercado, variações de necessidades funcionais, desenvolvimento tecnológico, motivos políticos, pressões da concorrência etc. Mas, sobretudo, o autor destaca o problema, que é inclusive moral, de métodos que se

⁷⁵ Van Onck, A. **Metadesign**.. Tradução de Lúcio Grinover. São Paulo: Setor de Publicações FAU-USP, 1965.

propõem a prever a solução formal da arquitetura (prerrogativa do arquiteto) e a compartimentação do espaço (prerrogativa do usuário). Seu objetivo é justamente o contrário: conseguir aplicar o método industrial junto à premissa de máxima liberdade.

O metaprojeto prevê a possibilidade de absorção de mudanças, porque o que tradicionalmente é apresentado como uma solução estática, acabada na construção, nele é entendido apenas como um dos possíveis estados de um espaço em transformação contínua. Estuda-se, portanto, o movimento dos elementos de um sistema, ou mais precisamente, procura-se estabelecer as regras segundo as quais os elementos podem se adaptar.

O que se observa é que, assim como aconteceu em outras áreas do conhecimento, as exigências da produção industrial e dos aspectos regulatórios e as aspirações humanas tornaram essenciais modelos conceituais capazes de descrever a interação de muitas variáveis. Rosso (1980, p. 84), entre os autores nacionais, foi quem apontou que o modelo de interação na construção, caracterizado por uma lógica básica de partes (subsistemas) e relacionamentos, segue o padrão dos sistemas abertos conforme foi apresentado por Bertalanffy.

Ludwig von Bertalanffy (1975) foi um biólogo austríaco autor do livro fundamental do pensamento sistêmico – "Teoria geral dos sistemas" – e da formulação do conceito de sistema aberto. Seu estudo, embora nascido de observações no campo das ciências biológicas, aplica-se a diversas áreas do conhecimento humano, já que ele próprio era um crítico da segmentação excessiva das áreas do conhecimento.

Bertalanffy estabeleceu o entendimento de que, em um sistema, a interação presente no conjunto determina o caráter e o funcionamento das partes e que os elementos tomados isoladamente não apresentam as mesmas características quando tomados em conjunto. Para o autor (BERTALANFFY, 1975, p. 37), o “problema do sistema é essencialmente o problema das limitações dos procedimentos analíticos na ciência”. As abordagens analíticas, em que o comportamento do todo é explicado pelo estudo das partes, só são aplicáveis se as interações entre essas puderem ser desprezadas e se as equações que descrevem seu comportamento forem lineares (equações de primeiro grau). Em oposição,

abordagens sistêmicas aplicam-se a conjuntos de elementos em interação em que o comportamento como totalidade não é equivalente ao comportamento como adição.

Outro aspecto fundamental definido por Bertalanffy (1975, p. 65-66, 72-73, 194, p. 217) é a capacidade de estabelecer ajustes que difere sistemas abertos de sistemas fechados. De acordo com o segundo princípio da termodinâmica, a tendência geral nos sistemas fechados é o aumento da entropia, ou seja, transformações em direção à desordem e ao nivelamento das diferenças. Em contraposição, os sistemas abertos podem se manter em um estado estacionário, evitando o aumento da entropia e, até mesmo, desenvolver-se para níveis de ordenação mais complexos. Enquanto os sistemas fechados seguem um caminho fixo determinado pelas condições iniciais, nos sistemas abertos, um estado final ou, como coloca Bertalanffy, uma “meta”, pode ser alcançado a partir de condições variáveis porque ele é determinado principalmente por parâmetros que controlam ações de correção.

A última característica dos sistemas abertos a ser destacada diz respeito à relação entre estado de totalidade e capacidade de adaptação; e estado de independência das partes e possibilidade de evolução. Estados de totalidade e estados de independência não são necessariamente opostos; com frequência, há entre eles uma transição gradual. Bertalanffy (1975, p. 87-99) explicou que a evolução na complexidade de um sistema acontece mediante a passagem de um estado de totalidade indiferenciada à especialização das partes que vão constituindo seus próprios subsistemas. Essa segregação progressiva em unidades com funções exclusivas permite melhor desempenho e, também, o estabelecimento de cadeias causais independentes, que podem se autorregular sem causar grandes distúrbios às demais partes. Por outro lado, é claro que com a especialização das partes o conjunto perde a indeterminação que, em larga medida, garantia sua capacidade de se reestruturar. Quanto mais as partes se especializam para desempenhar uma função, mais perdem desempenhos que são possíveis no estado indeterminado. Ou, como coloca Bertalanffy (1975, p. 37), “toda evolução, ao desdobrar alguma potencialidade, mata em botão muitas outras possibilidades”. A especialização conduz a uma heterogeneidade que significa, simultaneamente, possibilidade de evolução e vulnerabilidade ao colapso.

É nestas três ideias – interação, regulabilidade e segregação progressiva – que a coordenação modular, tal como aplicada por Rosso, Habraken, Van Randen, Oliveri e Ciribini, entre outros, e a teoria dos sistemas convergem. O equilíbrio entre a especialização das soluções e a flexibilidade é uma das questões-chave a serem observadas.

Como sistema aberto, a coordenação modular requer primeiro um método de ordenação geral, pouco rígido, relacionado às características essenciais do programa de usos – das quais se tem a escala dos espaços principais, da estrutura e da compartimentação –, e constituído pela identificação dos elementos que compõem o sistema e parâmetros para seu comportamento. Esses parâmetros, embora variem um pouco de um método a outro, costumam incluir: o sistema de referência modular definido conjuntamente com o multimódulo (ou multimódulos) de projeto; a identificação dos subsistemas mais relevantes sob o ponto de vista da produção e da composição espacial⁷⁶; e as diretrizes para aplicação horizontal e vertical dos elementos sobre a retícula, o que inclui, principalmente, considerações sobre posicionamento relativo e tipologias de encontro.

A relação entre elementos é primeiro estabelecida de acordo com o objetivo desejado para o projeto, fundamentos de construtibilidade e propriedades combinatórias matemáticas conhecidas, mas não conforme um ou outro componente construtivo específico. Deve-se, o máximo possível, definir objetivos, mas não os meios, para que não incidam sobre a singularidade das categorias produtivas. O detalhamento dos subsistemas de estrutura, vedações, cobertura e instalações hidrossanitárias, elétricas e mecânicas, embora parte fundamental do processo, isoladamente, não condicionam aspectos prévios de concepção. Isso, não equivale a dizer que devam ser ignorados. São incorporados, em conjunto, como dados na elaboração dos parâmetros iniciais e, posteriormente, retornam já de forma concreta no processo cíclico de revisão que refina o desenvolvimento do projeto.

⁷⁶ Pode não ser possível, ou necessário, que todas as partes do edifício sejam produzidas industrialmente. É suficiente adotar o critério de industrializar alguns componentes da construção, selecionados, por exemplo, conforme o estágio de desenvolvimento do parque industrial local, por sua relevância econômica, por necessidades técnicas ou ainda, de cronograma. Outros componentes, pelas mesmas razões, podem não ser adequados ao método industrial, mas ainda assim são relevantes para a edificação. A estes dois grupos são atribuídos papéis diferentes no método.

A escolha técnico-formal deve acontecer em momento próprio, quando as implicações produtivas e formais são diretamente enfrentadas. Um vínculo prematuramente desenhado representa um obstáculo para outras possibilidades de solução tecnológica que acabariam inadequadas ao padrão estabelecido ou exigiriam sua revisão. Ademais, introduz no método uma definição formal em um momento que é metodológico, não ainda criativo. Oliveri (1968), Van Raden (1978), e inclusive Krislov (1997) compartilham este mesmo entendimento de que a predefinição de especificações é com frequência contrária ao desenvolvimento.

Abbiamo anche ravvisato la necessità che tali vincoli siano ‘minimi’ e diretti a controllare solamente i parametri che possono influenzare le relazioni tra categorie di componenti lasciando invece il massimo compatibile di adeguabilità al design dei componenti (OLIVERI, 1968, p. 137).

Conforme a proposta se desenvolve, as soluções técnicas se especializam; porém, a partir de Van Randen (1978) sabe-se que, se o mesmo grau de interação característico do estado de totalidade for mantido, haverá comprometimento da flexibilidade, do fluxo de produção, ou da aplicação do método industrial. É necessário que a especialização seja acompanhada por algum grau de dissociação para que decisões relativas a um problema específico não afetem todo o conjunto de elementos complexos. Alterações sobre decisões já tomadas são contrárias à racionalidade de processo, incorrem em retrabalho de projeto e de execução (em canteiro ou na indústria).

A Figura 61, baseada no conceito de “efeito espaguete” proposto por Van Raden (1978), ilustra como no estado de totalidade os contornos dos elementos ainda não estão bem definidos e, portanto, trabalhar a partir das interações é um modo adequado de interpretar o projeto. Porém, conforme os subsistemas se tornam elementos com limites bem definidos e cadeias internas de complexidade, é necessário que a dissociação se estabeleça.

Figura 61 - Segregação progressiva dos subsistemas

Sem escala.

Fonte: elaboração própria.

Trazendo os princípios de Bertalanffy para a industrialização da construção, é possível entender que os elementos da construção tradicional, de base artesanal, passam por menos estágios de aplicação de tecnologia sobre a matéria prima e são menos complexos. Seus elementos têm contornos mais maleáveis, que podem sofrer adaptações sem que o fluxo normal da produção seja profundamente comprometido. Em um processo industrializado, todavia, a montagem na obra acontece quando os elementos já estão completamente definidos, têm contornos rígidos em que alterações, quando possíveis, significam desperdício (de tempo, de energia ou de material). Por isso, torna-se mais importante que essa evolução venha acompanhada de estratégias que criem um campo flexível para ajustes entre os elementos. Esse campo pode ser um espaço vazio, uma distância a ser coberta por um elemento de arremate ou, ainda, sistemas de união articulados que permitam variações de distância e ângulo.

O espaço vazio, embora nem sempre possível, é a estratégia mais simples para resolver a interação entre elementos de procedência distinta. Isso acontece, por exemplo, na separação da estrutura vertical em relação aos planos de fechamento da fachada.

Figura 62 – Posições relativas entre pilar e fachada (planta)

Legenda

I: Pilar em posição interna em relação à fachada;

M: Pilar em posição intermediária em relação à fachada;

E: Pilar em posição externa em relação à fachada.

A posição intermediária (M) exige a compatibilização dos fechamentos externos às possíveis variações dimensionais do pilar. As posições interna (I) e externa (E) são mais adequadas ao método industrial porque não interferem com os elementos de fachada, mais representativos no custo e no desempenho da edificação.

Sem escala.

Fonte: adaptado de Oliveri (1968, p. 139).

Os elementos de arremate de diferenças, como rodapés, soleiras, guarnições, sancas perimetrais e outras soluções que usam faixas variáveis e zonas de sobreposição, são estratégias tradicionalmente empregadas para resolver encontros. É interessante notar que, atualmente, às vezes acabam eliminadas em função de uma “pureza” na expressão estética do projeto; em algumas dessas vezes, os arquitetos que isso decidem ignoram a importância que tais elementos têm para solucionar folgas, desvios e movimentações sem incorrer em um trabalho artesanal, e nem sempre eficaz, de alinhamento, corte e preenchimento.

Na Figura 63 e na Figura 64, exemplifica-se em dois banheiros a aplicação dessas estratégias de ajuste simples para componentes industrializados: o espaço livre e os elementos de arremate. Os lavatórios e gabinetes pré-fabricados são instalados com um afastamento das paredes laterais. A banheira e a superfície para ducha, também pré-fabricadas, são arrematadas por volumes laterais construídos de forma independente das paredes principais. O que aconteceria se, ao invés disso, o projeto definisse as dimensões do espaço a partir das medidas desses componentes? Isso

tiraria a liberdade do usuário e do arquiteto de escolher entre produtos, a liberdade do fabricante de estabelecer ajustes em seus produtos, e requereria da construção um maior controle dimensional no posicionamento da compartimentação.

Figura 63 – Estratégias de ajuste para aplicação de elementos pré-fabricados em banheiros

Figura 64 – Detalhes (em seção) para aplicação de elementos pré-fabricados em banheiros

Legenda:

- 1 – Conjunto de lavatório e gabinete pré-fabricado;
- 2 – Banheira pré-fabricada;
- 3 – Peça de arremate lateral da banheira em pedra;
- 4 – Superfície para ducha pré-fabricada com ralo integrado;

Fonte: elaboração própria.

Outro tipo de solução, as uniões articuladas, são geralmente usadas quando o problema requer a mobilidade do vínculo na montagem e na operação como, por exemplo, na estrutura de apoio da fachada de vidro no edifício Financial Times em Londres (Fotografia 1). Tais estruturas, é interessante pontuar, pelos materiais e formas que empregam, trazem uma expressão imediatamente associável à construção industrializada, ainda que obedecem a um objetivo conceitualmente não tão diferente do que rege as soluções anteriormente mencionadas.

Fotografia 1 – Edifício Financial Times de Nicholas Grimshaw and Partners

Fonte: Jenkins (1994, n.p.).

Nesse caso, mesmo que a solução técnica do vínculo seja um detalhe sofisticado, sua articulação é determinada ainda nas etapas iniciais da concepção mediante representações simplificadas que comunicam uma intenção (Figura 65). Posteriormente, nas etapas de projeto executivo, projeto de produção e projeto de montagem, o desenho do componente de união é desenvolvido com o auxílio dos profissionais e indústrias especializados (Figura 66).

Figura 65 – Croqui de Nicholas Grimshaw para a estrutura de suporte da fachada de vidro no edifício Financial Times

Fonte: Jenkins (1994, n.p.).

Figura 66 – Detalhes construtivos da estrutura de suporte da fachada de vidro no edifício Financial Times

O projeto das tolerâncias para a montagem do sistema foi desenvolvido a partir do croqui de Grimshaw. Existe uma regulagem de $\pm 2.3^\circ$ para o alinhamento da face do "hub" que permite ajuste mediante a adição de calços ou arruelas nos discos de fixação durante a montagem. Os tirantes podem ser ajustados em $\pm 15\text{mm}$ para acomodar as variações locais e as tolerâncias de $\pm 12\text{mm}$ admitidas na montagem dos vidros. A tolerância de projeto para as colunas de aço é de $\pm 6\text{mm}$ em qualquer eixo.

Fonte: Jenkins (1994, n.p.).

A partir destes exemplos, entende-se que aplicação de elementos industriais requer um campo de ajustes e que para tanto são necessárias, antes de outras definições técnicas, sobretudo, duas definições conceituais: o espaço e a intenção de

dissociação. Muito frequentemente tem-se relacionado a coordenação modular à economia e ao tamanho mínimo dos ambientes. Porém, se o tamanho mínimo do espaço crítico não é suficiente para acomodar a totalidade das relações que o homem tem com seu espaço, também não é suficiente para acomodar esse campo de ajustes. A partir disso, não seria errado afirmar que ao espaço crítico deve ser acrescentado um espaço intersticial que lhe atribua flexibilidade. Esse mesmo interstício – o espaço que sobra e é ao mesmo tempo essencial – tem a capacidade de proporcionar flexibilidade na aplicação integrada de componentes industriais. A racionalidade de tal abordagem encontra-se em estabelecer uma ordem coerente que acomode as partes da edificação e as atividades do usuário sem que haja prejuízo para um ou outro. O sistema assim entendido é regulável.

O entendimento da coordenação modular como sistema é fundamentalmente diferente das abordagens que partem da resolução técnica de um determinado componente. É fato que, no passado, a coordenação modular foi penalizada pela falta de soluções técnicas adequadas, principalmente em relação às condições de associação entre elementos, estanqueidade, desempenho térmico e acústico. Igualmente, ainda hoje, ela pode se beneficiar com novos produtos e subsistemas que possibilitem, por exemplo, melhores condições de ajuste e interface. Não obstante, o que a avaliação desses modelos de pesquisa oferece é a sensação de que as soluções funcionam nas condições ideais em que foram desenvolvidas e que, alterada alguma variável, a proposta não tem capacidade de articulação. A interpretação derivada do conceito de sistema conduz ao entendimento de que, no âmbito da coordenação modular, tais soluções técnicas deveriam nascer derivadas de um estudo prévio geral, ao qual servissem, sendo complementares e intercambiáveis.

São várias as pesquisas em tecnologia aplicada com enfoque setorial desenvolvidas desde o início deste século no Brasil e observa-se o predomínio de trabalhos nas áreas de engenharia e desenho industrial direcionados ao desenvolvimento e aprimoramento de produtos. A esse respeito é possível mencionar as oito pesquisas selecionadas em 2006 pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) no âmbito do programa *Desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para habitação de interesse social: enfoque na coordenação modular* das quais cinco atuaram no desenvolvimento ou aprimoramento de linhas de componentes. Em duas outras o

desenvolvimento de componentes foi parte significativa da pesquisa⁷⁷. A exceção foi o projeto do GRUPO MOM, da UFMG, que desenvolveu um banco de dados de sistemas, componentes e processos como ferramenta de mediação entre intervenientes da construção (FINEP, 2009).

É importante esclarecer que as considerações críticas aqui feitas sobre as pesquisas setoriais não são referentes, em absoluto, à sua qualidade ou à sua relevância. O que se objetiva assinalar é a importância, para a coordenação modular como prática arquitetônica, do método de articulação dos diferentes elementos. Ou seja, as considerações não tratam do que está sendo dito, mas fundamentalmente do que não está. A concepção do projeto arquitetônico e mesmo a programação da industrialização da construção são antecedentes e, essencialmente, questões metodológicas.

6.2 INSTRUMENTOS DO MÉTODO

Nesta subseção, é aprofundada a análise sobre alguns instrumentos da coordenação modular identificados como essenciais na concepção de projeto. Esses, não obstante recebam ênfase e interpretação um pouco diferentes em cada referência bibliográfica consultada, costumam incluir o sistema de referência modular definido conjuntamente com o multimódulo (ou multimódulos) de projeto e as diretrizes para a locação horizontal e vertical dos elementos sobre a retícula.

A abordagem se relaciona a Habraken (HABRAKEN et. al., 2000, p. 169), que escreve que, para resolver um problema de desenho, devem ser conhecidos dados

⁷⁷ Tal observação baseia-se no relatório dos resultados parciais da Rede de Pesquisa 2 (Finep, 2009). Segue uma breve descrição dos projetos de cada universidade:

- A UFMG desenvolveu um banco de dados de sistemas, componentes e processos como ferramenta de mediação entre intervenientes da construção civil;
- A UFAL estudou a aplicação da coordenação modular na alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto;
- A UFSC atuou no aprimoramento do sistema plataforma em madeira;
- A UFC concebeu uma família de elementos cerâmicos com função estrutural e sistema de encaixe;
- A UFPB desenvolveu um sistema construtivo modular com blocos de gesso;
- A UFPR desenvolveu uma divisória-armário para ser usada em habitações de interesse social;
- A UFRGS desenvolveu elementos de conexão em *glass reinforced concrete* para melhorar o desempenho da ligação entre alvenaria e esquadria;
- A USP desenvolveu um painel alveolar de fibrocimento com revestimento de laminado de PVC.

acerca dos elementos e seu contexto. Ele pontua quatro itens necessários para tanto: a) a descrição do contexto; b) os elementos a ser empregados; c) parâmetros sobre a posição relativa dos elementos entre si; d) parâmetros acerca da posição relativa dos elementos em seu contexto. Tendo isso em consideração, explica, a formulação do projeto pode ser estruturada de forma clara, ainda que o método usado se diferencie.

A aplicação desses instrumentos requer algum domínio prévio sobre o objeto de trabalho. Isso significa, por exemplo, conhecer a escala adequada aos vãos estruturais e de compartimentação, ao atendimento de requisitos ergonômicos e funcionais relativos ao programa, as dimensões críticas provenientes das exigências legais e as principais características das técnicas construtivas disponíveis. Esses são dados que alimentam a reflexão e sobre eles os resultados obtidos devem ser verificados.

É relevante esclarecer em que medida o conteúdo desta subseção se diferencia da norma técnica de coordenação modular, uma vez que lá existem definições para o sistema de referência, multimódulos de projeto e locação dos componentes. Procurou-se aqui apresentar uma reflexão que não consta na NBR 15873:2010, que é o conhecimento sobre como acomodar desvios e exceções. Na maioria dos casos, é impossível que todos os elementos empregados sejam exatamente compatíveis. Porém, existem soluções previstas para atender satisfatoriamente às exigências de projeto e construção. Sobretudo, deve-se considerar que, para a produção industrial, a precisão de medidas é significativa; para a composição, a escala, o ritmo e a proporção; e para a construção, a capacidade de incorporar ajustes.

6.2.1 Sistema de referência modular e multimódulos

Conforme visto na subseção 2.4, “Definições”, o sistema de referência modular é uma retícula tridimensional usada para relacionar dimensões e posições no edifício. Para que o projeto se desenvolva de maneira compatível com a coordenação modular e para que todas as definições sejam tomadas sob um mesmo parâmetro, é conveniente que o sistema de referência esteja presente desde as primeiras etapas de criação.

Ainda que, conforme ilustrado na subseção 4.1, “Ordem”, existam retículas com eixos não ortogonais, o objetivo de associar requisitos de projeto à industrialização aberta conduz à aplicação de retículas ortogonais – quadradas, retangulares ou, ainda, tartãs. A retícula tartã (do inglês *tartan*), deve-se esclarecer, é constituída por multimódulos maiores e menores alternados nos dois sentidos e é assim chamada porque resulta em uma trama similar a trama tartã de um tecido escocês (Figura 67) (ROSSO, 1976, p. 57).

Figura 67 – Retícula tartã

Sem escala.

Fonte: elaboração própria.

Os eixos do sistema de referência, por norma (ABNT, 2010b), têm entre si um espaçamento correspondente ao módulo básico ($M = 10 \text{ cm}$) ou a um multimódulo, que é um múltiplo inteiro deste (Figura 68). Enquanto a flexibilidade do módulo básico é adequada para a locação de componentes, para a atividade de projeto é conveniente adotar multimódulos. Assim, no projeto, os sistemas de referência diferem entre si pelo multimódulo (ou multimódulos) adotado.

Figura 68 – Módulo básico M e multimódulos

Sem escala.

Fonte: Amorim, Kapp e Eksterman (2010a, p. 7).

A escolha do multimódulo é importante porque condiciona o dimensionamento e a articulação do projeto. Nessa escolha, são integradas considerações como: as características do programa de usos, a escala da compartimentação e das aberturas, a expressão desejada para as formas e os volumes, e os vãos típicos do método construtivo (se este já estiver definido).

Retomando os conceitos de módulo-função, módulo-forma e módulo-objeto apresentados por Rosso (1976, p. 132), para cada tipologia de edificação, espaços com usos diferentes caracterizam um módulo-função. A dimensão que ordena esses módulos-função definindo escala, proporção e ritmo é o módulo-forma. Para Rosso, os multimódulos são o mesmo que o módulo-objeto – eles se baseiam no módulo-função e no módulo-forma, mas têm também uma condição que é resultante da materialidade da construção.

Todavia, conforme explicado na subseção anterior, trazer considerações referentes à construtibilidade nas etapas iniciais de projeto não é o mesmo que desenvolver o projeto a partir de uma dessas considerações. É comum encontrar situações em que o multimódulo de projeto é definido por sua compatibilidade com um determinado

componente construtivo previamente escolhido. Na Figura 69, a seguir, Amorim, Kapp e Eksterman (2010a, p. 7) justificam a adoção de sistemas de referências 2M x 2M e 4M x 4M pela adequação às dimensões dos blocos de concreto estrutural. Da mesma forma, é possível retomar o exemplo, citado na subseção 3.3, do projeto que adotou um sistema de referência octamétrico a partir das dimensões de coordenação das placas de forro.

Figura 69 - Sistemas de referência modular 2Mx2M e 4Mx4M desenvolvidos para a locação dos blocos estruturais

Sem escala.

Fonte: Amorim, Kapp, Eksterman (2010a, p. 8).

Mais uma vez é importante lembrar que, metodologicamente falando, o multimódulo de projeto não deve ser resultado da dimensão deste ou daquele componente e, sim, da melhor forma de articular um conjunto de considerações que são técnicas, funcionais e estéticas.

Deve-se também observar que o multimódulo pode variar de acordo com o nível de detalhe característico da etapa e da disciplina de projeto em questão. Diferentes sistemas de referência são empregados, por exemplo, na distribuição das vedações e dos elementos estruturais. Devem, entretanto, ser compatíveis, tendo entre seus multimódulos múltiplos inteiros e mesma origem. Ou seja, diferem na escala de aproximação, mas mantêm as mesmas relações entre as partes e o todo. Como

exemplo, a Figura 70 ilustra a retícula que serve para o projeto estrutural (24M x 24M), a retícula de projeto de arquitetura (3M x 3M) e, ainda, a retícula que serve ao posicionamento dos componentes construtivos (M x M).

Figura 70 - Diferentes sistemas de referência (M, 3M, 24M)

Sem escala.

Fonte: Baldauf e Greven (2007, p. 41).

Os multimódulos são resultado de considerações relativas a um projeto, tomado individualmente, ou a um conjunto de projetos com características em comum, como um programa de usos. O multimódulo 9M, que é adequado para um programa escolar, por exemplo, não é adequado a um programa habitacional que exige dimensões menores, como 3M. Não obstante, é conveniente que haja correlação entre os valores comumente adotados. Essa correlação possibilita, além da compatibilidade já mencionada entre etapas e disciplinas de projeto, a determinação de séries de componentes industriais compatíveis a várias situações. Idealmente, portanto, um multimódulo será escolhido de uma lista de possibilidades entre si compatíveis, a que Rosso (1976, p. 24-25) chama de “subsistema modular de medidas” e a ABNT (1982s), de “série modular de medidas preferíveis”.

A esse respeito, a NBR 15873:2010 (ABNT, 2010b, p. 5) estabelece que o “uso de multimódulos com um maior número de divisores também modulares aumenta as possibilidades de compatibilização de elementos e componentes construtivos”. Ela

exemplifica o multimódulo 6M, que é múltiplo e, portanto, compatível com 2M e 3M (Figura 71). A norma atual não estabelece uma série de medidas preferíveis. Já a norma cancelada NBR 5726: 1982 *Série modular de medidas* (ABNT, 1982s, p. 1) definia que eram preferíveis as séries aritméticas de razão 2 (2M, 4M, 6M, 8M, 10M, 12M...) e razão 3 (3M, 6M, 9M, 12M, 15M, 18M...) (ABNT, 1982s).

Figura 71 – Compatibilidade entre multimódulos 6M, 3M e 2M

Sem escala.

Fonte: Amorim, Kapp e Eksterman (2010a, p. 20).

O sistema de referência modular é tridimensional e, portanto, aplicável tanto aos planos horizontais da edificação quanto aos verticais. Critérios diferentes atuam na eleição dos multimódulos em cada um desses planos.

Para as dimensões horizontais, são usuais os valores da série de razão 3. Sobre isso, Rosso (1976, p. 28) cita os multimódulos recomendados pelo IMG – 3M, 6M, 12M, 15M, 30M, 60M – e pela ISO – 12M, 15M, 30M, 60M. Ele, por sua vez, sugere os valores 3M, 6M, 9M, 12M e 15M. A série de razão 2, ainda que com menos frequência, também é indicada por alguns autores. Amorim, Kapp e Eksterman (2010a, p. 7, 26) sugerem o uso dos multimódulos 2M, 3M e 4M. Porém, conforme mencionado anteriormente, nesse caso a sugestão dos multimódulos 2M e 4M está associada ao emprego dos blocos de alvenaria estrutural de comprimento modular 4M.

Para as dimensões verticais, por outro lado, é predominante entre os autores a adoção do multimódulo 2M.

Diante da diferença entre a adoção frequente do multimódulo horizontal 3M (e seus múltiplos) e do multimódulo vertical 2M, Rosso (1976, p. 65-66) explica que o multimódulo horizontal está relacionado às máquinas provenientes do sistema imperial, que determinam larguras múltiplas do pé para os materiais em folha (1 pé = 30,48 cm). Entretanto, esses materiais, pela tecnologia de fabricação, não costumam ter as mesmas restrições dimensionais do comprimento. Considerando que o comprimento da folha é geralmente aproveitado na vertical, entende-se porque não seria necessária a aplicação do multimódulo 3M para medidas verticais. Por outro lado, nas vedações em alvenaria é preponderante o uso de tijolos e blocos que têm altura de coordenação mais comum 2M ou até 1M (tijolos maciços de barro com altura nominal de 9 cm). Além disso, explica, nas alturas tipicamente presentes no programa habitacional, a frequência de múltiplos de 2M é maior do que de 3M e a flexibilidade do multimódulo menor é mais adequada.

Acerca da explicação oferecida por Rosso, é possível acrescentar algumas considerações. Ainda que a presença do multimódulo 3M na indústria esteja associada ao sistema pé-polegada, este, por sua vez, tem origem antropométrica. É possível retomar Crease (2013) que, conforme mencionado na subseção 4.2, relata que a dimensão do pé humano, aproximadamente 30 cm, foi unidade de medida em praticamente todas as civilizações. Ou seja, o multimódulo 3M é coerente com a forma mais comum do homem medir as distâncias horizontais. Ademais, esta dimensão e seus múltiplos são representativos do espaço ocupado pelo homem em várias situações referenciais: largura de 60 cm para o espaço de uma pessoa parada, 90 cm para o movimento, 120 cm para permitir o cruzamento de duas pessoas, 180 cm para a abertura dos braços, 90 cm para estendê-los à frente e assim por diante. É evidente que, conforme abordado na subseção 4.2, tais dimensões variam de indivíduo a indivíduo e conforme padrões físicos e culturais; ainda assim, em termos de escala e não de medida precisa, os múltiplos de 30 cm são compatíveis com a amplitude dos movimentos humanos.

Na vertical, no entanto, a situação não é a mesma. É possível especular que a mudança resulte de uma diferença de percepção das distâncias horizontais e

verticais ou do fato de que os pés (a parte do corpo e não a unidade de medida) não sejam uma boa referência visual para as dimensões de altura. Mais provável é que a diferença aconteça porque as dimensões verticais requerem um ajuste mais preciso em relação às alturas do corpo. Enquanto para as distâncias horizontais costuma haver uma dimensão mínima necessária e uma escala geral adequada, para as alturas aplica-se uma faixa de variação mais justa, na qual se determina não só o mínimo, mas também o máximo. Desse ajuste fino depende, por exemplo, a visibilidade em uma janela, o conforto e a segurança de um peitoril e a possibilidade de uso de um banco ou de uma superfície de trabalho. Por isso, em sua relação com o corpo humano, a flexibilidade do multimódulo 2M, e em alguns casos até do módulo básico M, é mais adequada.

6.2.2 Posicionamento horizontal dos elementos

O aspecto mais crítico da aplicação da coordenação modular em projeto consiste no posicionamento dos elementos sobre o sistema de referência. Novamente, neste caso, os critérios se diferenciam para os planos horizontais e verticais.

O posicionamento horizontal está diretamente relacionado à espessura dos componentes. Se as espessuras fossem sempre modulares, a situação não traria nenhum desafio, porque os espaços entre elementos resultariam também modulares. Entretanto, espessuras de 10, 20 e 30 cm não são sempre econômicas e, além disso, aos elementos de vedação costumam ser acrescentados revestimentos de espessura variável (ROSSO, 1976, p. 43).

A partir do conjunto da bibliografia consultada (ROSSO, 1976, p. 48; ABNT, 1982a; ANDRADE, 2000, p. 21-24; PEREIRA, 2005, p. 45; BALDAUF; GREVEN, 2007, p. 47), é possível entender que existem cinco possibilidades de locação horizontal de elementos sobre o sistema de referência modular: simétrica, lateral, assimétrica, pela faixa amodular e pela faixa modular. Esses modelos de posicionamento estão apresentados na Figura 72.

Figura 72 – Posicionamento de componentes sobre o sistema de referência

Fonte: elaboração própria.

Cada um dos modelos possui características próprias a serem avaliadas.

Na locação **simétrica**, o eixo do componente corresponde a um eixo do sistema de referência e a distância entre eixos é sempre modular. Porém, quando a espessura do componente não é modular, isso resulta em dimensões também não modulares para o espaço interno. A locação simétrica se justifica porque assegura a continuidade rítmica do projeto, com vantagens principalmente em relação à compatibilização com a fachada e a estrutura.

Quanto à solução dos espaços internos que têm medidas resultantes não modulares, Rosso (1976, p. 51-54) propõe duas possibilidades de ajuste (Figura 73). A primeira é identificar uma zona de compensação delimitada pelos eixos vizinhos aos eixos de locação do componente. A segunda é adotar internamente ao ambiente uma retícula secundária, deslocada em relação à retícula principal para concentrar a compensação em apenas uma das extremidades. Em ambos os casos, para facilitar a aplicação de componentes industriais no arremate, a zona de compensação pode ser decomposta em uma faixa modular (de M ou $2M$) e uma faixa de arremate não modular.

Figura 73 – Zonas de compensação internas para locação simétrica de componentes

Fonte: elaboração própria.

Na locação **lateral**, uma das faces do componente coincide com o eixo do sistema de referência. Se a espessura do componente não for modular, a outra face do componente não coincidirá com um eixo. Disso resulta que em um dos lados do componente haverá uma situação integralmente modular e em outro, não.

Na locação **assimétrica**, as faces dos componentes estão afastadas com diferentes distâncias em relação ao eixo do sistema de referência. O espaço interno resultante pode ou não ser modular, conforme a espessura do componente e a excentricidade aplicada. Esse modelo de posicionamento serve principalmente para manter um alinhamento constante em uma das faces da parede no caso de haver componentes com espessuras diferentes (com a estrutura e a alvenaria) (ANDRADE, 2000, p. 22).

A locação lateral pode ser considerada um caso especial de locação assimétrica em que a excentricidade corresponde à metade da espessura do componente. Ambas priorizam o alinhamento de uma face. As duas modalidades são frequentemente usadas nos elementos perimetrais da edificação e também quando se faz presente uma mudança de espessura do componente em relação a outros componentes do mesmo eixo. A esse respeito, Andrade (2000, p.23) observa que os posicionamentos assimétrico e lateral têm larga aplicação “para os casos de locação de componentes estruturais associada à alvenaria, mas com espessura diferenciada”, conforme os exemplos da Figura 74 e da Figura 75.

Figura 74 – Locação simétrica do pilar e lateral da alvenaria

Sem escala.

Fonte: Andrade (2000, p. 23).

Figura 75 – Locação simétrica da alvenaria e assimétrica do pilar

Sem escala.

Fonte: Andrade (2000, p. 22).

Na locação pela **faixa amodular**⁷⁸, o sistema de referência é interrompido com a criação de um espaço amodular que corresponde à espessura da parede, de forma que as medidas internas dos ambientes são mantidas modulares.

Esse método parece ter caído em desuso, uma vez que só é apresentado por Rosso (1976, p. 44) que, por sua vez, o faz citando o International Modular Group (IMG)⁷⁹. Conforme apontado pelo autor, inclusive, esse tipo de locação é inconveniente porque resolve o problema no interior do ambiente, transferindo-o para seu exterior. Ou seja, desconsidera a continuidade física da construção. Nesse caso, a sequência de ambientes torna a compatibilização dimensional muito difícil e interfere na modulação de elementos contínuos como, por exemplo, a estrutura, a fachada, os elevadores e as escadas.

Finalmente, a locação pela **faixa modular**, conforme Rosso (1976), ou locação pela **malha tartã**, conforme Habraken (2000), é um desenvolvimento da locação simétrica em uma retícula de multimódulo 3M e da ideia de zonas de compensação.

No Brasil, a retícula tartã não é amplamente conhecida, uma vez que suas únicas menções foram feitas por Rosso (1976) e Andrade (2000), que, mesmo assim, não se aprofundaram sobre sua análise. Sobre ela, Rosso menciona que teve origem na Inglaterra. Sabe-se também, por meio de Habraken (2000), que baseou o sistema holandês de coordenação modular para habitação.

Primeiramente, deve-se esclarecer que há, na verdade, uma diferença na forma como Rosso e Andrade, por um lado, e Habraken, por outro, apresentam o modelo. A explicação dada pelos autores brasileiros conduz ao entendimento de que, na locação pela faixa modular, ambas as faces do componente coincidem com os eixos do sistema de referência. Isso, no entanto, não faria muito sentido porque só seria possível se a espessura do componente fosse modular, situação que, por sua vez, desfaz qualquer questão acerca do posicionamento. Entende-se aqui que as dúvidas

⁷⁸ Rosso (1976) usa o termo “zona neutra” em vez de “amodular”. Optou-se, no entanto, por obedecer à terminologia determinada pela NBR 15873: 2010 (ABNT, 2010).

⁷⁹ O IMG era uma comissão internacional composta por representantes de entidades interessadas na coordenação modular. Posteriormente o IMG passou a integrar o Conseil International du Bâtiment (CIB), na Comissão W.24, que colabora com a ISO.

sobre os textos de Rosso e Andrade decorrem de uma aproximação muito sintética e, por isso, optou-se por fazer referência a Habraken para melhor compreendê-lo.

O método de Habraken propõe a adoção de um sistema de referência principal espaçado pelo multimódulo 3M, usado para a articulação geral dos suportes e para o estudo das compartimentações possíveis internamente. Na etapa de definição de posicionamento dos componentes industriais, no entanto, o método sobrepõe ao sistema de referência principal – malha de situação – um sistema auxiliar, que chama de malha tartã 10/20 (Figura 76). A malha tartã é construída a partir de duplas de eixos centralizadas sobre os eixos principais da malha de situação. Portanto, não altera os eixos principais do sistema de referência; seu papel é fazer uma demarcação de zonas em relação a eles. Na proposta de Habraken, essa dupla de eixos tem espaçamento interno de 10 cm, o que resulta em 20 cm de espaçamento entre duplas. Porém, também seria possível a situação contrária, com espaçamento interno de 20 cm e espaçamento de 10 cm entre duplas.

Figura 76 – Malha de situação 3M e malha tartã 1M / 2M

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 91).

Admite-se, em uma aproximação metodológica, que os componentes sejam colocados de forma que suas faces coincidam com os eixos da malha tartã. Ou seja, os eixos principais da malha de situação 3M são as referências centrais de posicionamento, mas a malha tartã indica os limites das faces. Considerando, a partir disso, a distância entre os eixos da malha tartã, os espaços internos são

modulares, com dimensões que podem ser expressas em relação ao multimódulo principal (3M) com o acréscimo ou a subtração de 10 cm (Figura 77).

Figura 77 – Distâncias modulares entre eixos da malha tartã 10/20

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 91).

A característica marcante do método, contudo, é a estratégia de acomodação de espessuras diferentes de componentes. Na realidade, dado que a maioria dos componentes não tem espessura modular, a concordância entre faces e eixos não existe. O que existe é o entendimento de que toda a faixa em que se encontra a face do componente é um espaço de acomodação de espessuras, revestimentos e, também, desvios.

A situação efetiva da face do componente em relação à malha tartã varia dentro de certos limites que Habraken chama de “dimensão de posicionamento” (Figura 78). A dimensão de posicionamento é a distância entre o limite exterior do componente e a próxima linha da malha e é sempre um espaço livre.

Figura 78 – Dimensão (ou distância) de posicionamento

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 97, 110).

Estabelecido esse conceito, Habraken procede definindo parâmetros para o posicionamento dos elementos em relação à retícula tartã, de forma a controlar a variedade das situações possíveis. Os parâmetros por ele propostos, deve-se esclarecer, são baseados nas técnicas e materiais que emprega. Considera divisórias leves com espessura inferior a 10 cm, as quais centraliza sobre eixo da malha de situação 3M; e paredes de vedação e estruturais com espessuras entre 20 e 40 cm, que centraliza entre esses mesmos eixos. Determina também que as faces de todos os componentes estão contidas no interior das faixas de 10 cm, conforme a Figura 79 e a Figura 80.

Figura 79 – Posicionamento de componentes sobre a malha tartã 10/20

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 92).

Figura 80 – Relação das espessuras possíveis no método e a malha tartã 10/20

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 109).

Esse parâmetro para locação, conforme ele mesmo aponta, não funciona para espessuras entre 10 e 20, 40 e 50, e 70 e 80 cm. Para a construção brasileira, que emprega amplamente vedações em alvenaria com espessuras entre 10 e 20 cm, não seria, portanto, um parâmetro adequado. Não obstante, Habraken informa que

existem outros parâmetros possíveis, como os ilustrados da Figura 81, permanecendo aplicável, assim, o conceito geral do método que são as zonas de acomodação.

Figura 81 – Parâmetros alternativos para o posicionamento de espessuras por faixa

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 92).

Em seu método, Habraken mantém características essenciais do posicionamento simétrico e do posicionamento lateral. Com efeito, a tão discutida escolha entre o posicionamento pelo eixo e posicionamento pela face (Figura 82) não é para ele um problema real.

Figura 82 – Dimensionamento pelo eixo x dimensionamento lateral

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 96).

O autor considera natural que os se ocupam do posicionamento dos elementos, por exemplo, os engenheiros estruturais, preferam situar os eixos das paredes e colunas

modularmente, não estando interessados na quantidade de espaço que se cria. Outros envolvidos, explica, estão mais interessados no dimensionamento dos espaços. Na articulação do projeto de arquitetura, ambas as distâncias são importantes. Para a aplicação de componentes que são colocados internamente à estrutura ou à compartimentação, como escadas e divisórias padronizadas, é conveniente que as dimensões dos espaços sejam modulares. Os agentes governamentais reguladores (códigos sanitários e de bombeiros, por exemplo) também têm interesse em conhecer as dimensões livres dos espaços. Porém, nesses casos, a questão principal reside na obediência a padrões mínimos. Ou seja, é preciso que uma certa dimensão mínima livre seja garantida, mas, a partir disso, a dimensão efetiva pode ser um pouco maior.

Portanto, ainda que a exatidão das medidas de eixo, usadas para a locação e para o cálculo, seja importante, o mesmo princípio não vale para a dimensão dos espaços. Inclusive porque, dadas as variações na obra e nas espessuras de revestimento, as dimensões internas geralmente não podem ser garantidas. Volta-se, portanto, à questão já apontada algumas vezes: o dimensionamento para a produção industrial tem como característica medidas precisas, mas o espaço não e a construção não.

Finalmente, é preciso observar que o posicionamento simétrico associado ao conceito de zonas de compensação, tal como feito por Rosso (1976), não é essencialmente diferente do que propõe Habraken (2000). Em ambos os casos se prioriza o posicionamento pelo centro do componente e se admite que haverá distâncias a serem compatibilizadas. Para essas distâncias, os autores indicam a necessidade de que os sistemas industriais empregados incluam peças de compensação e uniões ajustáveis (Figura 83). As soluções técnicas devem ser definidas pelos fabricantes, uma vez que o método determine suas regras e conveniência de aplicação.

Figura 83 – Elementos de arremate para componentes modulares

Sem escala.

Fonte: Habraken et al. (2000, p. 96).

6.2.3 Posicionamento vertical dos elementos

Na coordenação altimétrica a complexidade também reside na referência adotada para o posicionamento dos elementos em relação ao sistema de referência.

O entendimento do problema depende da apresentação das alturas referenciais – de piso a piso, de compartimento ou pé-direito, do conjunto laje-piso e do conjunto laje-viga – conforme a Figura 84.

Figura 84 – Alturas de piso a piso, de pé-direito, dos conjuntos laje-piso e laje-viga

Fonte: elaboração própria.

As alturas dos conjuntos laje-piso e laje-viga dificilmente serão modulares, uma vez que não convém aumentar desnecessariamente o peso-próprio da estrutura e o gasto de material para atingir alturas múltiplas de 10 cm. Se a altura de piso a piso for modular, as alturas não modulares dos conjuntos laje-piso e laje-viga resultam, respectivamente, em pé-direito livre e pé-direito sob a viga também não modulares.

A consulta da bibliografia de referência possibilitou o entendimento de três situações diante desse problema (Figura 85):

- a) manter a altura de piso a piso modular e aceitar alturas não modulares de pé-direito;
- b) definir como modular a altura de pé-direito e determinar a altura do conjunto laje-piso como faixa amodular. Nesse caso, o pé-direito sob a viga poderá permanecer não modular, dependendo da altura da viga;
- c) definir como modular a altura de pé-direito sob a viga e determinar a altura do conjunto laje-viga como faixa amodular. Nesse caso, o pé-direito livre poderá permanecer não modular, dependendo da diferença de altura entre viga e laje.

Figura 85 – Posicionamento dos conjuntos laje-piso e laje-viga em relação ao sistema de referência

Fonte: elaboração própria.

As situações “a” e “b” são apresentadas por Rosso (1976) e Amorim, Kapp e Eksterman (2010a, p. 29), enquanto a situação “c” é apresentada por Lucini (2001, p. 29).

A situação “a”, em que a altura de piso a piso é modular, tem como vantagem a manutenção da continuidade na coordenação de dimensões. Conforme explica Rosso (1976, p. 74), que defende o uso dessa opção, numa edificação existem vários subsistemas – tais quais água, esgoto, eletricidade, circulação vertical, estrutura e fachada – em que a continuidade entre pavimentos é importante. Esse é o mesmo princípio que torna a definição de faixas amodulares para espessuras de parede inadequada. Para solucionar o problema das alturas não modulares sob a

estrutura, Rosso novamente propõe zonas de compatibilização em que sejam usados elementos de arremate.

À explicação de Rosso, é preciso acrescentar que a altura modular das alvenarias que, a princípio, justificaria o emprego das opções “b” e “c”, na verdade, não é uma boa referência. Para as alvenarias, a altura deveria ser contada a partir do osso da laje (não do piso acabado) e o topo geralmente não pode chegar até a base da estrutura, uma vez que é necessário um espaço livre para posterior encunhamento (Figura 86). Esta altura de encunhamento, dependendo das características da estrutura, será preenchida com tijolos maciços inclinados ou cunhas de concreto pré-fabricadas, para os quais é deixada altura livre de 10 a 15 cm; ou, ainda, com espuma de poliuretano e argamassa, que preenchem uma altura de 2 a 3 cm (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 200?).

Figura 86 – Altura de encunhamento sob viga

Fonte: elaboração própria.

Há, evidentemente, outras variações de acordo com o sistema estrutural adotado. Conforme lembra Rosso (1976, p. 76), para laje apoiada sobre alvenaria estrutural, havendo cinta de amarração em altura de 2M, as vedações serão modulares e a altura de piso a piso também, independente da espessura da laje (Figura 87). É possível, no entanto, considerar esse como um caso específico ótimo em que a viga

(a cinta de amarração) tem altura modular e a altura de encunhamento não é necessária.

Figura 87 – Coordenação altimétrica de laje apoiada sobre alvenaria estrutural

Fonte: elaboração própria.

Finalmente, como as paredes e divisórias não estão sempre sob vigas de mesma altura e podem estar também diretamente sob a laje, normalmente haverá mais de uma altura a ser considerada para o subsistema de vedações.

É interessante mencionar que Rosso (1976) desenvolveu um estudo para a padronização dimensional de alturas de vigas, lajes e de espessuras de pavimentos, considerando, para tanto, múltiplos do incremento submodular $M/4$ (2,5 cm). Entretanto, partindo do pressuposto de que a continuidade da coordenação altimétrica exige uma faixa de ajuste entre vedos e estrutura, nesta dissertação considera-se que a padronização de alturas submodulares da estrutura tem menor importância. Na prática, é difícil precisar com antecedência a dimensão exata deste ajuste porque há desvios e deformações naturais à construção. É, por isso, mais conveniente entender que a faixa de ajuste terá altura inferior a $2M$ (considerando o multimódulo vertical $2M$) e que deverá ser compatibilizada por algumas soluções típicas de arremate como, por exemplo, peças pré-fabricadas de alturas $M/2$, M e $3M/2$ somadas a uma camada de argamassa com altura variável.

Avaliação semelhante é possível em relação à padronização de comprimentos de vigas e alturas de pilares a partir dos incrementos submodulares de $M/2$. Hoje, consideradas as possibilidades de customização dos grandes elementos da construção, esse esforço de padronização prévia de séries dimensionais com incrementos submodulares é menos necessário. Parece mais importante que a coordenação foque suas investigações nas estratégias de acomodação das variações dimensionais e nas áreas de acomodação.

6.2.4 Observações finais

Acerca das diferentes possibilidades de locação dos componentes apresentadas, é interessante considerar que, em alguns casos, o problema fica mais complexo pela obediência rígida de um modelo. Rosso afirma que, "na prática, é perfeitamente possível utilizar componentes modulares sem amarrá-los rigidamente a uma quadrícula modular. Em certos casos, esta desvinculação simplifica o projeto e facilita a solução de problemas de locação" (ROSSO, 1976, p. 46). Igualmente, Andrade (2000, p. 21) afirma que "A complexidade do projeto leva, em muitos casos, à necessidade de utilização de várias alternativas de disposição de forma simultânea, de maneira a facilitar a solução dos problemas de locação".

Portanto, é necessário identificar quais são os elementos que, na estruturação do projeto e da produção, deverão obedecer ao sistema de referência e quais, pelos mesmos motivos, não. É possível, por exemplo, entender que, para elementos estruturais e paredes a eles associadas, seja conveniente respeitar o multimódulo de projeto. Igualmente, a obediência ao multimódulo é necessária em situações em que elementos grandes pré-fabricados estejam associados a um ritmo visível de composição. Por outro lado, em situações em que não existe continuidade visível ou interação significativa com outros elementos do edifício, como compartimentações internas leves que não são justapostas à estrutura ou à fachada, é admissível priorizar outros requisitos de projeto.

Para evitar problemas na compatibilização de espessuras, sempre que possível, não é conveniente associar componentes com funções diferentes. No que concerne a compatibilização da estrutura com a vedação, sob um aspecto metodológico, seria mais adequado que esses sistemas estivessem separados para eliminar os ajustes

necessários. Porém, para a organização da planta, nem sempre isso é adequado. Em geral, não sendo essa solução possível, parece conveniente seguir os métodos de Rosso (1976, p.63-64, 146) e Habraken (2000), que propõem faixas de compatibilização para o ajuste no encontro entre elementos distintos.

Finalmente, deve-se fazer nota que a consulta às referências bibliográficas nacionais recentes, ao contrário do padrão predominante na década de 1970, indicou maior frequência na adoção do posicionamento lateral sobre a malha horizontal e da definição de faixas amodulares para os conjuntos laje-piso e laje-viga. A locação lateral é, inclusive, o modelo usado nas figuras da NBR 15873:2010 (ABNT, 2010b) para exemplificar as aplicações de conceitos.

É possível citar Amorim, Kapp e Eksterman (2010a, p. 14), que afirmam:

O posicionamento preferencial de elementos e componentes, atualmente, é o alinhado [pela face] com a malha. Isto permite uma legibilidade melhor da coordenação dos outros componentes. Já foram aceitas, em norma técnica, outras formas de posicionamento. A mais simples revelou-se a alinhada com a face da malha, pois facilita as interconexões.

É possível estabelecer uma relação entre a escolha desses métodos de posicionamento e um modelo de aplicação da coordenação modular mais focado à racionalização das alvenarias de vedação e estruturais e que parte do pressuposto de uma compartimentação rígida. Conceitualmente, a locação pelo eixo prioriza um ritmo constante para os elementos fixos do projeto, como estrutura e fachada, e pressupõe que a compartimentação interna, sendo flexível, é secundária. Ao contrário, a locação lateral prioriza a compartimentação interna como dado fixo para a determinação do ritmo do projeto.

6.3 ASPECTOS ECONÔMICOS E PROGRAMAÇÃO POLÍTICA

Diante do objetivo desta dissertação, é importante aprofundar o exame do desenvolvimento da construção civil e das pesquisas em coordenação modular a partir da década de 1980⁸⁰ em sua relação com o período que a antecedeu.

É possível, a partir de Fonseca (2000, p. 28-29, 46), remeter ao início da especialização dos campos da arquitetura e da engenharia no Brasil às décadas de 1930 e 1940, período em que se observou expansão das atividades da construção civil, conduzidas pela urbanização e por investimentos do Estado no setor da habitação. A expansão nesse contexto significou, além de mais construções, edifícios mais altos e mais complexos para os quais se faziam necessários conhecimentos técnicos especializados.

Em 1933, as profissões de engenheiro e arquiteto foram regulamentadas e as atividades de projeto e construção passaram a ser responsabilidade dessas categorias. Surgiram também empresas especializadas em partes da obra e as atividades foram se decompondo sob a responsabilidade de vários intervenientes. Nessa época, constituíram-se os primeiros escritórios de cálculo estrutural e algumas grandes construtoras. O distanciamento entre projeto e obra começou a se estabelecer: o operário da construção participava menos das decisões de projeto; em contrapartida, as principais decisões passaram a ser tomadas por projetistas fora da obra com natural perda de conhecimento sobre as práticas ali desenvolvidas. A menor qualificação da mão de obra também foi fator chave para essa dissociação: o domínio que a mão de obra específica detinha sobre seu ofício até o início do século XX se perdeu à medida que esta foi substituída pela barata e disponível massa de trabalhadores provenientes da zona rural. Em um círculo vicioso, o despreparo da mão de obra exigiu que os projetos tivessem maior capacidade prescritiva; projetos mais prescritivos permitiram a contração de mão de obra menos especializada e mais barata (FONSECA, 2000, p. 46-47).

⁸⁰ A análise não aborda, porém, a crise econômica nacional iniciada em 2014 porque, além de não pertencer ao recorte histórico da dissertação, considerou-se aqui que avaliações sobre ela sem uma extensa pesquisa específica seriam prematuras..

De 1950 até 1964, os investimentos estatais se transferiram da construção civil para a construção de infraestrutura em apoio ao esforço desenvolvimentista. Além disso, a “alta inflação do período, aliada ao congelamento dos aluguéis afastou os investimentos do mercado imobiliário” (FONSECA, 2000, p. 29). Sem injeção de capital, tanto público quanto privado, o setor ficou estagnado. A intensa atividade de construção de Brasília nesse período, segundo Farah (1988⁸¹ apud Fonseca, 2000, p. 29), não foi representativa da situação predominante no restante do país.

Para a coordenação modular, conforme apresentado na subseção 2.2 HISTÓRICO NACIONAL, isso significou falta de recursos públicos para a continuidade dos estudos depois da publicação da primeira norma nacional, NB25-R, em 1950.

Com o golpe de 1964, teve início um novo período de marcante atuação estatal na construção civil, com destaque para a política habitacional. O investimento na provisão habitacional atendia a vários objetivos: conquistar apoio popular diante do déficit de moradias, dinamizar a economia e gerar empregos. Para tanto, formou-se uma estrutura de financiamento estatal para o setor habitacional e de infraestrutura por meio do Serviço Financeiro de Habitação (SFH) e da criação do Banco Nacional da Habitação (BNH). Instituídos em 1966, o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e o Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE) garantiram a arrecadação de recursos para implantar tal política (FARAH, 1988⁸² apud FONSECA, 2000, p. 31). A construção civil entrou novamente em período de grande expansão, sendo que a taxa anual de crescimento do setor passou de 1,9% entre 1959 e 1965, para 10,6%, entre 1965 e 1970 (FONSECA, 2000, p. 48).

O BNH foi o principal instrumento do Governo na promoção habitacional e, conforme exposto no referencial teórico desta dissertação, foi também a entidade que mais contribuiu para as pesquisas em coordenação modular no Brasil (BALDAUF, 2004, p. 63). É interessante, neste estágio, destacar alguns fatores que caracterizaram a atuação do BNH nos estudos de coordenação modular, especialmente no que ela se diferencia das pesquisas conduzidas neste século.

⁸¹ FARAH, M. F. S. “Diagnóstico tecnológico da indústria da construção civil: caracterização geral do setor”. In: **Tecnologia de edificações**, São Paulo: PINI; IPT, 1988.

⁸² Ibidem.

O *Plano de Implantação da Coordenação Modular na Construção*, desenvolvido pelo Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (CBC) sob contratação do BNH, tinha objetivos que abordavam o tema sob uma perspectiva ampla, incluindo alcançar uma padronização tipológica e dimensional de componentes, mas, também, tratando do projeto de edifícios e estabelecendo regras para a aplicação de tais componentes. Além disso, previa ações complementares, como a definição de uma teoria de ajustes e tolerâncias, a análise de normas e códigos de edificações em sua compatibilidade com a coordenação modular e ações de divulgação e treinamento (BALDAUF, 2004, p. 70, 77-83).

O trabalho foi programado para ser realizado em três etapas: estudos preliminares, estudos teóricos e aplicação prática, embora só haja relatórios acerca da realização das duas primeiras etapas. Os estudos metodológicos – projeto modular, juntas, controle estatístico e tolerâncias, e séries numéricas – e também os estudos específicos sobre alguns segmentos de componentes – vedações, coberturas e forros, acabamentos, esquadrias, instalações e madeiras –, posteriormente, basearam a formulação das normas técnicas de coordenação modular do período. É relevante apontar que “os Grupos de Trabalho [do plano de implantação] acreditavam ser óbvio que a norma, como instrumento válido de implantação, só poderia ser aceita como um dos fatos conclusivo do Plano e não como uma premissa” (BNH; CBC 1970a⁸³ apud BALDAUF, 2004, p. 76). Nota-se, portanto, que neste aspecto o processo foi contrário ao que se deu neste século, quando um direcionamento significativo à revisão normativa (NBR 15873), ainda que tal esforço tenha desencadeado outras publicações relevantes como os *Manuais de práticas recomendadas – coordenação modular* (AMORIM; KAPP; EKSTERMAN, 2010).

Em contrapartida às características positivas da atuação do BNH, é relevante observar que, como já havia ocorrido entre as décadas de 1930 e 1950, o crescimento acentuado da construção civil a partir de 1964 determinou mudanças no exercício de engenheiros e arquitetos. Fonseca (2000, p. 48) apresenta o relato de Francisco Paulo Graziano, da Gramont Engenharia, no qual explica que “a produção imobiliária até então, era baseada principalmente em escritórios de construtores que

⁸³ BNH, CBC. **Plano de Implantação da Coordenação Modular da Construção**. BNH/CBC, 1 etapa, 20 jan. 1970a.

contavam com arquitetos, engenheiros calculistas, hidráulicos e elétricos. Desta forma, [...] nascia de uma integração dos diversos projetos”. Com o grande aumento das ofertas de trabalho, os profissionais passaram a atuar de forma autônoma e a estrutura anterior se dissolveu.

Além disso, houve uma demanda grande pelas etapas preliminares de projeto usadas para a liberação do financiamento do empreendimento. “Esta prática de desenvolver o projeto somente até a fase de projeto legal não é uma novidade do período, porém a estrutura organizacional anterior [integrada] garantia a qualidade e construtibilidade do edifício, fato que não se mantém quando esta estrutura se fraciona” (FONSECA, 2000, p. 49). O rompimento entre as disciplinas de projeto e delas com a construção, agravado pelos projetos pouco desenvolvidos, segundo Fonseca (2000, p. 49), resultou em queda da qualidade construtiva.

Contudo, a questão da qualidade das soluções técnicas executadas no período merece também um exame sob outro ângulo. Vargas (1979) explica que na atividade de incorporação o capital se associava à construção para a obtenção de financiamento a juros tabelados pelo governo. Mas, durante o longo prazo de construção, o capital não precisava ficar todo imobilizado na atividade produtiva. Ele tinha certa autonomia para ser temporariamente deslocado para o sistema financeiro com rendimentos muito mais elevados. A incorporação também se beneficiava (e continua se beneficiando) das rendas auferidas pela propriedade da terra, ampliadas por meio do monopólio e da especulação. Esses fatores davam à atividade construtiva um papel secundário na produção de lucros. “Por isso os empresários da construção procuraram, sempre que possível [...], associar-se à incorporação” (VARGAS, 1979, p. 115). É essa lógica que sustenta as análises desenvolvidas a partir da década de 1970, segundo as quais havia um desinteresse dos construtores em investir no progresso técnico da construção devido à capacidade de reprodução do capital pela renda desassociada da produção.

Não obstante, o período de abundância já se aproximava do fim na década de 1970. Em 1973 aconteceu a primeira crise do petróleo e o início de uma recessão mundial que encerrou a era de expansão econômica pós Segunda Guerra. Por alguns anos, o governo brasileiro conseguiu manter a dinâmica da economia através de políticas de investimento, mas, para tanto, acabou comprometendo as contas públicas. No

início da década de 1980, com a nova alta dos preços do petróleo e dos juros internacionais, os problemas no exterior se agravaram e finalmente atingiram a economia nacional, que entrou em crise.

As políticas estatais eram baseadas no crescimento econômico constante, conforme o modelo desenvolvimentista corrente desde 1930. O SFH usava recursos do FGTS e das cadernetas de poupança, os quais sofreram grande impacto (FONSECA, 2000, p. 33). O sistema colapsou com diversos problemas inter-relacionados: falta de capacidade de financiamento, desemprego, queda na arrecadação de impostos e contribuições, queda do nível de poupança, aumento da dívida pública e inflação. O setor da construção civil foi profundamente comprometido em duas frentes: a queda dos financiamentos afetou a produção; a do poder aquisitivo da população afetou o consumo. O “volume de recursos aplicados na área de habitação caiu mais de 50% de 1980 para 1987, com uma queda de 62% no total de unidades financiadas entre 1980 e 1984” (FARAH apud FONSECA, 2000, p. 33). Em 1986 o BNH foi extinto e suas atribuições divididas entre o Banco Central do Brasil, a Caixa Econômica Federal e o Ministério da Fazenda (Abecip, 201?).

A leitura de Fonseca (2000), Moura (2011) e Shimbo (2013) indica que nesse período de crise, inverteu-se o cenário das décadas de 1960 e 1970 que tinha a facilidade de reprodução do capital como um obstáculo para o desenvolvimento tecnológico. A abordagem corrente é de que a crise econômica e a inviabilidade de financiamentos iniciada na década de 1980 levaram o setor a buscar economia na produção e ganhos de competitividade (FONSECA, 2000, p. 55). De acordo com Fonseca (2000, p. 109-110),

A história do edifício como mercadoria/investimento, é pautada por diversos períodos onde fatores outros, como o preço do solo ou a facilidade na obtenção de financiamentos, relegaram a qualidade do produto a um segundo plano. No primeiro caso, o lucro proveniente da mudança de uso do solo urbano era tão maior que o custo da edificação, que a lógica da construção desta era desprezada. (...) No segundo caso, a alta taxa de retorno do capital dada pela garantia de financiamento à construção e à venda do produto, possibilitou a entrada no mercado de investidores e promotores vindos de outros setores da economia. (...) Finalmente, com a crise dos anos 80, situações conjunturais – crise do Estado, fim dos financiamentos específicos para o setor imobiliário, entrada em vigor do código do consumidor, etc. – forçam o mercado imobiliário a se voltar para a busca de ganhos de qualidade e racionalidade na produção e no produto como forma de viabilizarem seu produto em uma situação de grande concorrência e retração de mercado.

A competitividade entre empresas, a falta de crédito e a queda dos salários fizeram com que a venda passasse a depender da diminuição do preço final, reduzindo os lucros líquidos da incorporação. Em alguns casos, para a viabilizar as vendas, o imóvel era vendido a prazo, o que na verdade consistia na retenção de capital próprio da construtora em um autofinanciamento (FONSECA, 2000, p. 49-50; MOURA, 2011, p. 269). Nesse cenário, a manutenção das altas taxas de retorno só se dá com a redução do capital investido e/ou tempo de imobilização desse capital. Assim, economia de custo e prazos mais curtos passaram a ser significativos. Em relação ao tempo, é interessante notar que a imobilização de capital próprio na construção criou uma situação de urgência fundamentalmente oposta à anterior, quando o capital de financiamento a juros fixos podia ser reaplicado no mercado financeiro durante o período de construção.

Diante disso, Fonseca afirma que algumas grandes empresas do setor de construção começaram a investir em processos de racionalização e, dentre elas, destaca a importância da Encol (que em 1999 acabaria falindo devido a práticas administrativas ilícitas):

A Encol especialmente, desenvolveu uma série de padronizações como forma de viabilizar a ampla atuação que tinha no Brasil (a empresa quando faliu, tinha 690 obras em andamento). Dentre essas padronizações de procedimentos e projetos podemos citar a exigência de Quadros de Resumo de Projeto bastante pormenorizados que acompanhavam a entrega do projeto à construtora, a Padronização de Acabamentos em função das faixas de preço dos apartamentos, Parâmetros para projetos de banheiros; Parâmetros para projetos de cozinhas; Padrões para colocação de ralos; Cadernos de detalhes para execução de alvenaria; Padronização de pé-direito para estrutura; Padronização de blocos de concreto para alvenaria; Detalhes genéricos para vãos de portas e janelas; Modulação de plantas em função dos blocos adotados; Modulação vertical em função dos blocos; Padrões de densidade de pilares por área de pavimento; Normas de projeto para contrapiso zero; Tipologias de apartamentos; etc.” (FONSECA, 2003, p. 7)

É possível perceber que as padronizações não ficaram restritas à obra. A preocupação do mercado em reduzir custos e prazos chegou aos arquitetos na forma de maior controle por parte das construtoras que impuseram seus sistemas construtivos e seus padrões de projeto.

“Os arquitetos e demais projetistas tinham que se enquadrar aos padrões definidos pela construtora. Existia praticamente um pré-projeto em função do sistema adotado. Esses exemplos mostram o nível de controle das construtoras sobre a definição de tecnologias e procedimentos de obra, que

acabam por conformar o projeto de arquitetura em algum nível. Outro aspecto importante a ser salientado, é o fato de os escritórios de arquitetura terem perdido o controle sobre as decisões sobre os processos construtivos e até sobre a forma gráfica de apresentação dos projetos.” (FONSECA, 2000, p. 102)

A estabilização econômica só veio em 1994, durante a presidência de Itamar Franco, com a criação do Plano Real, e sua continuidade com a eleição de Fernando Henrique Cardoso (MOURA, 2011, p. 120). O Plano Real foi um plano de estabilização monetária que adotou o câmbio como mecanismo de controle da inflação. Com a estabilização monetária, o sistema de crédito, que vinha inviabilizado desde o final da década de 1970 devido à hiperinflação, voltou a ficar disponível (MOURA, 2011, p. 120).

A estabilização monetária e a abertura econômica do período criaram condições para a entrada e o estabelecimento de empresas estrangeiras no país. A abertura do mercado também obrigou as empresas nacionais de construção, em um primeiro momento, e as de projeto, em seguida, a adotarem novos padrões de controle da produção. Este modelo de desenvolvimento econômico, ainda que suscite controvérsia em relação à indústria nacional, consolidou o mercado de materiais e componentes antes incipiente. A padronização da qualidade e o lançamento de novos produtos tiveram um papel importante para a modernização do setor (MOURA, 2011, p. 129; FONSECA, 2003, p. 8, p. 52).

A política habitacional adotada nos primeiros anos após o Plano Real acompanhou a gestão neoliberal do presidente Fernando Henrique Cardoso, com o encolhimento das ações do governo central e financiamentos direcionados às faixas mais altas do mercado (MOURA, 2011, p. 124). “Com a valorização financeira alavancada pela manutenção das taxas de juros em patamares elevados, os capitais nacionais acabavam fugindo de investimento produtivos e eram destinados a aplicações mais rentáveis no mercado financeiro” (MOURA, 2011, p. 125).

Contudo, em 1997, a instituição do Sistema de Financiamento Imobiliário (SFI) inspirado no modelo norte-americano, passou a possibilitar a captação de recursos privados do mercado de capitais para operações imobiliárias de longo prazo (MOURA, 2011, p. 269; Abecip, 201?). Nos anos 2000, o Estado foi um agente fundamental porque o aumento de financiamentos públicos pelos principais fundos

SFH (o FGTS e o SBPE) e a isenção de imposto atraíram investidores e serviram para o fortalecimento do mercado de capitais (MOURA, 2011, p. 269; SHIMBO, 2013, p. 7). Configurou-se, então, na primeira década no século XXI, um quadro que associou injeção de recursos públicos e privados no financiamento, consolidação do marco regulatório sobre o mercado imobiliário, entrada de recursos internacionais via abertura de capitais, diminuição das taxas de juros, ampliação dos prazos de amortização e o aumento do poder de compra de imóveis pela população.

No início de 2009, segundo mandato do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, a ampliação das linhas de financiamento culminou na criação do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV), lastreado por recursos do Orçamento Geral da União (OGU) e do FGTS. O programa, que está atualmente em sua terceira fase (MCMV3), além de servir ao enfrentamento do déficit habitacional, teve parte na configuração de um mercado de consumo popular para a construção civil e para o mercado imobiliário, que haviam sido parcialmente abalados pela crise financeira mundial de 2008. Por um lado, cumpriu o papel de injetar capital nas construtoras e incorporadoras financiando a produção; por outro, ampliou a capacidade de compra dos consumidores por meio de um considerável aumento do crédito habitacional (MOURA, 2011, p. 208; SHIMBO, 2013, p. 9).

A expansão do volume de produção para atender à grande demanda do mercado tornou-se o foco do setor e trouxe de volta os argumentos sobre a industrialização da construção. De acordo com Moura (2011, p. 270), isto “evidencia-se na criação de departamentos específicos para desenvolvimento de novas tecnologias gerenciais e construtivas ou mesmo na mudança completa do padrão construtivo”. O encarecimento da mão de obra (mais requisitada pelo aumento da produção), assim como sua baixa qualificação, também pressionaram as construtoras a buscarem processos construtivos com maior grau de racionalização e industrialização (MOURA, 2011, p. 162, 173).

Além disso, as estratégias de produção para controle de custos e prazos, típicas dos modelos de gestão empresarial, interessavam aos investidores internacionais que agora participavam do processo (SHIMBO, 2013, p. 8-9; MOURA, 2011, p. 270, 281). A rentabilidade da ação da empresa no mercado financeiro, e não a produtividade, requer a exposição de certa modernização. Paradoxalmente, o ganho

astronômico possível no mercado de ações (impossível no setor produtivo) acabou por incentivar o investimento no próprio setor produtivo para transmitir uma imagem adequada à reprodução do capital nas ações (VARGAS, 2010⁸⁴ apud MOURA, 2011, p. 163).

Finalmente, a marcante atuação do mercado imobiliário no setor de habitação econômica, que tem menor margem de lucro e maior risco envolvido (MOURA, 2011, p. 241), justificou o controle de custos e prazos de produção. Neste setor, mesmo diante do mercado aquecido, fez sentido uma lógica similar à estabelecida durante a recessão da década de 1980, em que se controlaram os custos e os prazos para garantir a rentabilidade do empreendimento. Na década de 1980, tal comportamento foi conduzido por construtoras e incorporadoras atuantes nos segmentos mais altos do mercado imobiliário. Agora, o programa social também trouxe o envolvimento do Governo Federal e de agentes que tradicionalmente tratam menos da produção do mercado imobiliário – universidades, instituições de pesquisa e agente normativos, por exemplo. Sob essa ótica do programa e da ação estatal, os acontecimentos da primeira década do século XXI se aproximaram simultaneamente das pesquisas desenvolvidas nas décadas de 1960 e 1970.

É possível, a partir desse relato histórico, tecer algumas considerações.

A primeira consideração importante é que, diferentemente do que uma avaliação preliminar acerca da lacuna de bibliografia específica sobre coordenação modular poderia indicar, não se pode afirmar que as experiências em racionalização e industrialização tenham desaparecido durante a crise econômica de 1980 e 1990, tampouco que o desenvolvimento tenha se estagnado. O setor da construção civil ainda mantém as especificidades que o caracterizam como manufatura, mas vem se desenvolvendo de forma lenta e gradual (MOURA, 2011, p. 129), adaptando-se aos ciclos da economia, sejam de expansão ou retração. Não houve, por um lado, interrupção do desenvolvimento tecnológico nem, por outro, rompimento com estruturas consolidadas.

⁸⁴ Informação fornecida por Nilton Vargas em entrevista a André Moura em 28 de dezembro de 2010.

Identificou-se nesse período, através de Moura (2011, p. 239), a presença de dois aspectos relevantes de desenvolvimento tecnológico:

- a) a **transferência de etapas do canteiro para a indústria** de materiais e componentes; e
- b) a **padronização de processos** de controle do trabalho dentro e fora do canteiro.

O primeiro aspecto – maior uso de componentes industrializados na obra – refere-se à consolidação de um mercado mais amplo e estruturado, ocorrida principalmente na década de 1990, e à **padronização** (ainda que incompleta) **de produtos** industriais. O fortalecimento do setor de materiais e componentes permitiu que este passasse a abastecer as obras com elementos industrializados em maior variedade e qualidade. Isso também ofereceu às construtoras de menor porte acesso a tecnologias antes restritas às grandes construtoras (MOURA, 2011, p. 129). Moura (2011, p. 271) explica que essa evolução aconteceu de forma incremental, sem rompimentos com o padrão produtivo anterior e, por isso, remete-se à denominação dada por Luiz Henrique Ceotto⁸⁵ de “industrialização sutil”.

Sobre a “industrialização sutil” é pertinente esclarecer que, apesar de haver experiências com sistemas construtivos considerados inovadores, não são predominantes as iniciativas com intensa pré-fabricação; ao contrário, conforme já mencionado em capítulos anteriores, tornou-se frequente a adoção de alvenaria estrutural e da alvenaria racionalizada (SHIMBO, 2013, p. 12). As tendências de subcontratação de mão de obra atravessaram as décadas de 1980 e 1990 e se mantêm em patamares elevados (FONSECA, 2003; SHIMBO, 2013). O sistema não prescinde, portanto, do emprego abundante de mão de obra, permanecendo uma base de produção bastante tradicional. Essa característica justifica a importância do segundo aspecto do desenvolvimento tecnológico identificado.

O segundo aspecto refere-se à implantação de métodos de gerência e padronização (controle) do trabalho iniciados na década de 1980 e que continuam até hoje. Este é um aspecto mais complexo porque suas manifestações assumem formas

⁸⁵ Informação fornecida por Luiz Henrique Ceotto em entrevistas a André Moura em 9 de fevereiro de 2010 e 16 de março de 2010.

heterogêneas. As mudanças acontecem em níveis distintos e as estratégias de padronização variam em função do tamanho e da *expertise* dos agentes envolvidos, além do mercado em que atuam (MOURA, 2011, p. 277). A **padronização de processos** aponta para racionalização. Por outro lado, ela não significa necessariamente a qualidade construtiva, arquitetônica ou urbanística, principalmente quando se aproxima da padronização do edifício em si, como repetição (FERREIRA apud SHIMBO, 2013, p. 11; MOURA, 2011, p. 278).

A novidade trazida por algumas empresas se concentra na adoção de sistemas avançados de gestão e de controle do trabalho no canteiro de obras. “A padronização rigorosa de procedimentos de execução de métodos, de mensuração de qualidade, de estocagem de materiais, de fiscalização, etc. ajudam a diminuir a exigência do trabalho complexo no canteiro” (MOURA, 2011, p. 276-277). As grandes construtoras, que têm melhor capacidade de investimento, avançaram nessa direção (MOURA, 2011, p. 129).

Principalmente (mas não exclusivamente) no caso das construções direcionadas às camadas de baixa renda, em sua maioria conduzidas por construtoras de médio e pequeno porte, consolidou-se um padrão econômico baseado em tipologias padronizadas “que se repetem [...] independente das condições climáticas, culturais e morfológicas do local” (SHIMBO, 2013, p. 11). Sob a análise de Moura (2011, p. 278), a aplicação de projetos completamente padronizados não cumpre a função de intensificar a produtividade na obra. Diferente da padronização de procedimentos, a repetição completa e descriteriosa do projeto (inclusive em municípios distintos), por si, não oferece contribuição significativa devido à adaptação precária às condições locais específicas, como topografia, diversidade de códigos de obra e treinamento das equipes de execução (MOURA, 2011, p. 279). Portanto, esta estratégia está mais relacionada à intensificação do trabalho de arquitetura e engenharia, diminuindo o tempo de desenvolvimento de projetos que se tornam, muitas vezes, apenas projetos de implantação.

Essa estratégia permite que os serviços de desenvolvimento de projeto sejam também terceirizados a pequenos escritórios que acabam obtendo seus rendimentos com base no volume de trabalho. Trata-se da mesma estratégia de gestão da mão de obra encontrada nos canteiros, mas neste caso é o arquiteto que ganha por produção. A concepção do espaço passa a ser mais um instrumento da aceleração do processo produtivo, da

desqualificação do trabalho complexo e da extração ampliada da mais valia. (MOURA, 2011, p. 278).

Assim, a tendência de aumento na dominação e no controle do capital sobre o trabalho não se restringe ao trabalhador operário, mas atinge também engenheiros e arquitetos. A demanda, em um primeiro momento, pela redução de custos e, mais tarde, pelo aumento da produtividade afeta o trabalho de concepção dos empreendimentos, nem sempre de uma forma positiva. “Não só o projeto aumenta sua função de instrumento de controle sobre o trabalho no canteiro, mas seu próprio desenvolvimento passa a ser mediado por padrões que aumentam o controle sobre sua própria criação” (MOURA, 2011, p. 277).

Os arquitetos perderam espaço na esfera de tomada de decisões iniciais do projeto, uma vez que a predefinição do produto imobiliário é feita pelo incorporador e pelos investidores. A perda ocorreu também nas etapas finais, conforme os arquitetos se tornaram cada vez mais distantes das questões relativas à obra. Fonseca (2000, p. 95) explica que, atualmente, além do projeto executivo que é desenvolvido pelo arquiteto, desdobra-se um segundo projeto (ou conjunto de projetos) – o projeto de produção que pode ser desenvolvido pelo arquiteto, mas costuma ser desenvolvido pela construtora. Conforme já examinado, há construtoras que possuem uma produção padronizada e direcionam previamente o trabalho de arquitetura. Mesmo quando isso não acontece, no desenvolvimento posterior do projeto de produção, as construtoras adaptam (com maior ou menor liberdade) o projeto executivo aplicando seus próprios sistemas construtivos, organização de fases de produção, padrões de detalhes e de representação gráfica. Também “elaboram ou contratam projetos específicos para a execução, como projetos de terraplenagem, de fôrmas para concreto, de racionalização de alvenarias, de kits hidráulicos e elétricos, de impermeabilização, de pisos, de cobertura, de fachada, etc” (FONSECA, 2003, p. 8).

A elaboração do projeto de produção é um instrumento importante para a eficiência da construção e para a qualidade do resultado. Porém, o fato da equipe responsável pelo projeto de arquitetura não participar de mais essa etapa intensifica a separação entre concepção e execução. Perde-se a possibilidade de alimentar a criação com respostas reais provenientes da obra e de incluir na construção considerações tipicamente feitas pela arquitetura. O edifício é resultado das duas esferas – de

concepção e execução – e acaba carregando nele as marcas da intensidade da separação entre elas.

Portanto, se não é adequado afirmar que as décadas de 1980 e 1990 tenham sido períodos de estagnação tecnológica, a avaliação que parece mais pertinente é que o tema da racionalização tenha se transformado em função de um maior domínio de construtoras, incorporadoras e da estruturação da indústria de materiais e componentes.

O relato histórico mostrou que, desde a década de 1930, o desenvolvimento da construção civil conduziu progressivamente à especialização e à separação dos agentes envolvidos na construção⁸⁶. Porém, a partir da década de 1980, com a redução da atuação do Estado no setor, construtoras e incorporadoras ocuparam a lacuna criada, priorizando, nessa ação, seus interesses comerciais. É fato conhecido e mencionado por diversos autores, entre os quais Rosso (1976), Van Randen (1976), Baldauf (2004) e Habraken (2000), que a construção civil é um campo de intervenientes com interesses contraditórios. Na ausência do Estado para determinar ações direcionadas a um objetivo social, entre os intervenientes o poder decisório tende a acompanhar o capital. Há indícios de que isso tenha configurado um cenário em que se priorizou o desenvolvimento da racionalização como ferramenta para ganhos econômicos em detrimento de investigações que objetivassem tanto a eficiência técnica da construção quanto a qualidade do espaço construído.

É possível, a partir dessa análise, extrair as razões para o fato da coordenação modular não ter feito parte do desenvolvimento ocorrido entre as décadas de 1980 e 1990. Nessa época, conforme os arquitetos perdiam seu papel de coordenadores do processo de construção, a abordagem integrada característica da coordenação modular também perdeu espaço. Além disso, conforme apontado por Lucini (2010, p. 22), houve um rompimento em relação às experiências da década de 1970, que ficaram relacionadas pejorativamente a soluções tecnológicas de pouca qualidade. Finalmente, a diminuição da intervenção estatal na promoção de habitação parece

⁸⁶ É interessante notar que esta especialização e o progressivo afastamento da arquitetura dos assuntos relacionados à construção também tinham sido observados por Van Randen em nível internacional e descritos em sua palestra de 1976 (VAN RANDEN, 1976).

ter eliminado um componente de interesse essencial para investigações específicas por instituições de pesquisa não relacionadas ao mercado.

Pode-se também especular que esse quadro faça parte de um cenário internacional mais amplo. A investigação dos fenômenos internacionais não pertence ao escopo desta dissertação, porém, a análise de Michael Ball referente aos Estados Unidos, reproduzida por Arantes, parece encontrar ecos na realidade nacional:

Nos anos 1980, os arquitetos passaram a ser vistos como “desorientados ou grandiosos amadores, incapazes de gerir as complexidades do processo construtivo. O mundo da construção mudava naqueles anos e o arquiteto perdia seu status de ‘coordenador supremo’ – confiar-lhe o exercício de tal função já era considerado uma temeridade – para ser visto como um profissional arcaico, solicitado apenas para resolver problemas de gosto. Com o crescimento da complexidade da construção e a expansão da subcontratação, o que ampliou a fragmentação e a imprevisibilidade na construção, os ‘arquitetos não tinham mais meios e nem vontade de impor uma disciplina organizacional para essas questões’ (BALL, 1988⁸⁷ apud ARANTES, 2010, p. 177).

Conforme expresso na justificativa desta dissertação, identifica-se a partir do ano 2000 um ressurgimento das publicações específicas da coordenação modular. A que se pode atribuir esse retorno? Uma associação possível é com os investimentos significativos do governo federal no setor de habitação de interesse social. Viu-se que, nas décadas de 1960 e 1970, o BNH foi o grande provedor de financiamento para a produção da habitação, tendo também muita importância para a pesquisa da coordenação modular por meio de financiamento à pesquisa. Este vínculo entre financiamento público à habitação e pesquisa parece se fazer presente mais uma vez, dado que as principais publicações recentes (apresentadas no referencial teórico desta dissertação) têm envolvimento do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC)⁸⁸ e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Programa de Tecnologia de Habitação – Habitare/Finep⁸⁹. Simultaneamente, o programa habitacional tem uma relevância social maior do que

⁸⁷ BALL, M. **Rebuilding Construction**: Economic Change in the British Construction Industry. Londres: Routledge, 1988.

⁸⁸ São iniciativas relacionadas à atuação do MDIC o Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil, de 2008, a NBR 15873 – Coordenação Modular para Edificações, publicada de 2010, e os cinco Manuais de Práticas Recomendadas de Coordenação Modular, também de 2010

⁸⁹ É publicação da Coleção Habitare a obra “Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada” (GREVEN; BALDAUF, 2007).

o restante da produção imobiliária, o que atrai o interesse de arquitetos e instituições de pesquisa. A questão do programa é, portanto, essencial para o restabelecimento do diálogo.

Nesse sentido, entende-se que se formou, na primeira década do século XXI, um ambiente em que diversos intervenientes – arquitetos, construtores, indústria e instituições de pesquisa – encontraram-se simultaneamente envolvidos em torno do tema da coordenação modular.

Não obstante, deve-se observar que esta retomada carregou as marcas dos agentes que conduziram o desenvolvimento durante as duas décadas anteriores em que ele foi sobretudo estratégia para a reprodução do capital. Em comparação ao que aconteceu durante a existência do BNH, de 1964 a 1986, na primeira década deste século o Estado assumiu um papel fundamentalmente diferente, de financiador de pesquisas direcionadas ao desenvolvimento industrial, mas não de implementador de uma programação política integrada para o projeto modular. A direção assumida mostra sinais da alienação da arquitetura das questões produtivas e da independência do setor industrial e da construção às questões relativas à integração e à concepção do edifício. As ações estabelecidas agem principalmente sobre os padrões de qualidade dos produtos tomados isoladamente, como, por exemplo, os avanços promovidos pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat, mas não para a qualidade global da construção, como atendimento das necessidades dos usuários, que são, além de físicas, psicológicas e sociais.

É preciso considerar que, quando se trata de qualidade da construção, fala-se em industrialização, racionalização e redução de desperdício, mas também de direcionamento de recursos públicos, saúde e bem-estar social, enfrentamento da obsolescência tipológica e da formação de porções significativas das cidades. Ou seja, existe um objetivo amplo que é a construção contínua, programável no tempo e extensível no território, destinada a atender a políticas públicas. No mundo todo, esses programas públicos da arquitetura – habitações, escolas e hospitais – constituíram as mais importantes experiências-piloto para o desenvolvimento de sistemas baseados na coordenação modular.

A relevância das ações do Estado e do cenário macroeconômico foi demonstrada no relato histórico, uma vez que as principais fases do desenvolvimento da construção civil no Brasil foram determinadas de acordo com a injeção (ou a ausência) de investimentos públicos no setor, ou, ainda, com medidas que direcionaram os investimentos privados. Entende-se que a transformação deve acontecer, principalmente, sob políticas que tenham como objetivo associar racionalidade e qualidade nas construções executadas ou financiadas pelo setor público. Conforme a nota de Paolo Viola no livro de Oliveri (1968), o Estado é um agente estratégico para essa ação por duas razões distintas e convergentes: por sua capacidade de intervenção em nível normativo e por seu papel como principal cliente de todo o setor. O poder de compra, já mencionado na subseção 3.2.1 *Estratégias de implementação*, significa possibilidade de racionalizar a demanda e, como reflexo, de organizar a oferta, isto é, a estrutura produtiva.

A coordenação modular interpretada como uma política pública integrada para a construção ou, tal como apresentado por Oliveri (1968), o metaprojeto, é a programação técnico-produtiva da edificação, e assim o é à medida que, com seu poder de compra, o Estado determina diretrizes cujo fim não é apenas de garantir (de modo empírico e fracionado) produtos de boa qualidade, mas, principalmente, promover, com iniciativas próprias e atitude metodológica, o desenvolvimento de todo o setor da construção. Se trata, por isso, de estudar um sistema que saiba orientar o projeto à produção sem limitar a expressividade e a capacidade de evolução contínua.

O que significa lançar um programa para a racionalização da construção mediante a coordenação modular como política pública? A partir de Viola (OLIVERI, 1968, p. 170-171), é possível entender que se trata de quatro ações principais:

- a) Elaborar um sistema de projetos baseado em categorias de componentes dos quais se definem padrões qualitativos sem impor a tecnologia dos meios de produção;
- b) Estabelecer o controle da variedade, a intercambialidade e a compatibilidade mediante definição para cada categoria de dimensões padronizadas e de condições de contorno;

- c) Proceder à unificação e à atualização das especificações, dos anúncios de licitações, regulamentos construtivos, sanitários, de bombeiros e com a eliminação da miríade de disposições desorganizadas e contraditórias;
- d) Promover investimentos no setor produtivo e garantir mercados aos agentes, isto é, assegurar que a construção subsidiada pelo Estado (casas, escolas, hospitais) adotará os esquemas que envolvem esta sistemática.

Programas com fundamentos semelhantes aos propostos por Viola foram estudados por vários autores e testados em algumas situações, com mais ou menos sucesso.

No Brasil, Rosso (1976) seguia passos consoantes ao tratar da aplicação da coordenação modular pela conciliação dos modelos aberto e fechado no que chamava de sistema programado. Propunha que a industrialização fosse direcionada por um agente promotor que tratasse de estabelecer requisitos para os produtos a partir de uma demanda da arquitetura e de um mercado já bem definido (garantindo o poder de compra). Então, seriam identificadas empresas interessadas em fabricar séries compatíveis. Ou seja, sugeria formas de aproveitamento do processo industrial a serviço do projeto, e não o contrário.

A esse respeito é interessante mencionar a experiência-piloto planejada de 1978 a 1980 pelo BNH em conjunto com o Instituto de Desenvolvimento Econômico e Gerencial (Ideg). A experiência, descrita por Baldauf (2004)⁹⁰, ambicionava a produção em larga escala para viabilizar investimentos e consolidar sua aplicação. Assim, tinha como objetivo produzir de quatro a cinco mil unidades habitacionais por ano, durante três anos. Sobre o método, pode-se destacar que pretendia estimular empresas produtoras a adaptar suas linhas de produção conforme os requisitos do programa, a partir da garantia de financiamento à produção e de demanda para os produtos. Ao programa caberia, ainda, a verificação das normas técnicas pertinentes, o treinamento de projetistas, o controle de qualidade, o monitoramento da execução das obras, o acompanhamento da demanda e da oferta e a análise dos resultados (BNH; IDEG, 1980 apud BALDAUF, 2004, p. 93).

⁹⁰ A autora, todavia, não oferece dados acerca dos resultados obtidos a partir da experiência-piloto e mesmo se essa chegou a ser concluída, uma vez que o BNH descontinuou suas atividades na década de 1980.

Seria merecedor de exame, embora extrapole o escopo desta dissertação, o sistema de projeto e execução das escolas pública estaduais de São Paulo desenvolvido desde a época da Companhia de Construções Escolares do Estado de São Paulo (Conesp), sob direção de João Honório de Mello Filho e, posteriormente, assumido pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) (FERREIRA; MELLO, 2006). É também relevante o conjunto da produção de João Filgueira Lima, o Lelé, reconhecido por incorporar a coordenação modular em um desenho com qualidade técnica, funcional e formal. Num contexto em que os produtos industriais disponíveis não eram adequados a seus propósitos, Lelé optou por assumir o controle sobre a produção, desenvolvendo em suas usinas sistemas altamente qualificados do ponto de vista do desenho industrial. Isso foi possível porque desenvolveu sua carreira na esfera do poder público, em que, ainda que intercalando períodos de maior e menor sucesso, dispunha de recursos para os investimentos necessários neste modelo de produção (GRINOVER, 2015, p. 401).

O que se percebe é que o discurso que se deve adotar diante do objetivo de implantar a coordenação modular como estratégia nacional é político, ou seja, deve ser transferido ao máximo nível do poder, havendo um diálogo entre a pesquisa, a administração pública e as empresas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta dissertação – examinar o desenvolvimento da disciplina de coordenação modular no Brasil após 1986 – está fundamentado em duas observações preliminares: a defasagem das discussões que repetem fórmulas consolidadas nas décadas de 1960 e 1970 sem se aprofundar em temas atuais e os indícios do enfraquecimento de uma visão integrada do problema, sobretudo no que concerne à concepção do projeto arquitetônico e às necessidades humanas.

Como método de pesquisa, as óticas diversas sob as quais o tema pode ser explorado foram divididas em quatro unidades de análise – componentes industriais, requisitos humanos, perspectivas contemporâneas oferecidas pelas ferramentas digitais e projeto modular – que formaram as principais seções da dissertação. Esta seção examina as conclusões obtidas em cada uma das unidades para a verificação das transformações pelas quais passou a disciplina.

7.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A lacuna de aproximadamente duas décadas nas pesquisas sobre coordenação modular poderia conduzir à conclusão prematura de que as décadas de 1980 e 1990, marcadas pela recessão e pela queda dos investimentos públicos na construção civil, tivessem sido também um período de estagnação tecnológica. Na verdade, o que se verificou foi que o processo de desenvolvimento da construção não se interrompeu pela ausência de financiamento público durante a recessão econômica. Continuou de forma lenta e gradual se adaptando para a reprodução do capital.

Esse desenvolvimento foi marcado por dois aspectos: mais uso de produtos industriais disponibilizados pela consolidação da indústria de materiais e componentes na década de 1990 e mais controle de construtoras e incorporadoras sobre a produção desde a década de 1980. Esse controle assumiu formas diferentes: pode ser identificado na racionalização de procedimentos na obra – treinamento, mensuração de qualidade, gerenciamento de materiais etc. –, mas chegou aos arquitetos na forma de predeterminações rígidas para o

desenvolvimento do projeto, restringindo seu campo de atuação. Portanto, incidiram sobre a criação arquitetônica as mesmas aceleração e desqualificação do trabalho complexo para a extração máxima da mais-valia que atingiram a maioria dos segmentos da produção contemporânea.

O controle é do projeto sobre a obra, mas também da construtora sobre o projeto, e vem acompanhado do afastamento do arquiteto de determinadas etapas da produção e de um descolamento entre concepção e execução. Se nas décadas de 1960 e 1970 a coordenação modular no Brasil carecia de progresso técnico, ela passou posteriormente a padecer da alienação do arquiteto. Esse afastamento, associado a uma produção direcionada ao mercado imobiliário, contribuiu para que a racionalização não assumisse, entre as décadas de 1980 e 1990, a forma de coordenação modular⁹¹ que exige uma abordagem mais integrada da construção.

A partir do início deste século, diversos fatores trouxeram de volta o tema da coordenação modular.

A explicação identificada em algumas publicações já no princípio da elaboração desta dissertação indicava que a estabilização da economia, a retomada do crescimento econômico e os programas de investimento em habitação de interesse social estavam na origem da recuperação. A relevância social do programa habitacional atrai o interesse de arquitetos e instituições de pesquisa e foi determinante para a ampliação de investigações que estavam, até então, contidas principalmente no universo da produção imobiliária.

Essa percepção, embora correta, não explicava exatamente a sequência de acontecimentos que conduziram as ações estabelecidas no período. Durante o avanço desta dissertação, os dados recolhidos das referências bibliográficas começaram a apresentar correspondências de datas, nomes e entidades intervenientes. Ficou claro que houve em curto período – de 2006 a 2010 – uma cadeia de iniciativas essencial para os avanços identificados. Segue-se uma

⁹¹ Essa é uma generalização que remete principalmente à ausência de publicações específicas nas referências bibliográficas consultadas. A coordenação modular encontrou nesse período algumas manifestações práticas em programas não associados à atividade do mercado imobiliário.

recapitulação breve do que foi possível verificar a esse respeito; os dados também se encontram sintetizados na linha do tempo apresentada na Figura 88.

Em 2006, a chamada pública direcionada à coordenação modular da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) foi decisiva para o desenvolvimento de projetos de pesquisa espalhados por oito estados do país e principalmente para a formação da Rede Colaborativa de Pesquisa de Coordenação Modular. Os participantes desta rede atuaram junto ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (Mdic) para obter apoio federal à disciplina. A partir disso, conseguiram um acordo de cooperação técnica federal que resultou, em 2010, na publicação da NBR 15873. O processo de revisão da normalização foi amplamente divulgado, contribuindo para a disseminação de informação. Os pesquisadores da rede, assim como outros pesquisadores já envolvidos com o tema, agiram como difusores de conhecimento por meio de workshops e de publicações feitas no período. Essas ações ecoaram por algum tempo, resultando na produção de outras dissertações e artigos.

Figura 88 – Linha do tempo

Fonte: elaboração própria.

Após 2010, não foram identificadas outras publicações significativas para o desenvolvimento da disciplina por parte do governo federal nem de instituições de pesquisa. Sem um novo agente catalisador, ainda que as pesquisas continuem ressoando o que foi feito, parece ter havido uma diminuição do ritmo. Isso, aliado à crise econômica e política pela qual o país atravessa no momento, representa um risco de nova estagnação, já que, conforme se verificou, o progresso tecnocientífico

nacional está fortemente associado às ações políticas para o financiamento de pesquisas.

7.1.1 Componentes industriais

Ao apurar as novas pesquisas desenvolvidas, encontraram-se sinais do modelo estabelecido nas duas décadas anteriores, com ênfase à racionalização e à padronização de componentes industriais. Verificou-se que as ações estiveram profundamente associadas à revisão da norma técnica 15873:2010 como forma de estimular a aplicação de componentes provenientes da industrialização aberta.

A esse respeito, procurou-se sinalizar o risco de superestimar o papel que uma norma técnica pode ter em qualquer campo de investigação. Para isso, na terceira seção desta dissertação, indicou-se que a norma técnica é um padrão e, como tal, a acompanham benefícios e desafios potenciais.

Os cinco modelos propostos por Krislov (1997) para explicar a formulação de padrões – modelos tecnocrático, de difusão, restritivo, por mútuo acordo e arbitrário – relativizam a ideia de que o estabelecimento de uma norma é uma solução completa. É recorrente (e confortável) a crença nos modelos tecnocrático e por mútuo acordo; são essas as ideias apresentadas por instituições normativas, como a ABNT, para explicar o trabalho que desenvolvem. Todavia, as reflexões sobre os demais modelos conduzem ao entendimento de que, na verdade, as determinações arbitrárias, os interesses comerciais e, em grande medida, a cópia do que já foi conhecido e testado têm muita força. Entender um padrão como “mínimo denominador comum” entre as opções viáveis, a aderência acidental e a preferência consciente, que tem como objetivo promover confiabilidade e compatibilidade nas relações de troca de produtos e serviços, é, possivelmente, a forma mais realista de tratá-lo. Acreditar que o estabelecimento de normas técnicas é capaz de conduzir a evolução de um campo de investigação possivelmente reproduzirá respostas incompletas e datadas.

Tendo em mente que a padronização e a normalização têm um papel importante, mas com limites de atuação, avaliou-se o conteúdo da NBR 15873.

Averiguou-se uma eficácia da revisão normativa ao estabelecer um conteúdo unificado e com clareza de terminologia. Apurou-se que a simplificação e a objetividade alcançadas foram acompanhadas da exclusão de conteúdo, principalmente ao não tratar de questões referentes ao projeto modular. Entretanto, considerando o objetivo de estabelecer referências para a padronização de componentes adequada à coordenação modular, o que se destaca é a falta de diretrizes específicas sobre o dimensionamento nos diferentes segmentos da construção. A norma é pouco restritiva e trata principalmente da adoção do padrão decimétrico e dos conceitos de medida de coordenação, medida nominal e ajuste de coordenação. Dessa forma, não é capaz de estabelecer os três princípios necessários para a adequação de componentes à coordenação modular: o controle da variedade, a intercambialidade e a compatibilidade.

Discutiu-se a pertinência do estabelecimento de uma normalização mais restritiva, porém foi reconhecida a complexidade do problema: o dimensionamento dos componentes da construção é proveniente de questões muito variadas, como limitações físicas dos materiais, processos de fabricação, lógica de transporte, manuseio e armazenamento, questões econômicas e históricas e, ainda, da interação entre diferentes subsistemas. O risco de superpadronização e estagnação conduziu à conclusão de que é, de fato, conveniente, elaborar uma norma-mãe abrangente e pouco prescritiva, como a NBR 15873, desde que ela direcione o estabelecimento de outras normas coerentes e específicas em cada segmento.

Procedeu-se, então, com uma verificação do estágio da adequação de quatro segmentos da indústria da construção – vedações, coberturas, esquadrias e revestimentos – aos princípios da coordenação modular, por meio da análise de classes de componentes de uso mais frequente. Concluiu-se que o grau de conformidade presente em cada segmento varia, como também varia a viabilidade de ações de adequação ou mesmo a conveniência de fazê-las. No entanto, como avaliação geral, é possível apresentar recomendações válidas para todos os segmentos.

Primeiro, são necessárias, por parte da indústria, melhores práticas no fornecimento de dados sobre o dimensionamento dos componentes, diferenciando corretamente em catálogo as medidas nominais e de coordenação e provendo os detalhes típicos

de junta. Informações incompletas ou inexatas, que só podem ser confirmadas após a compra do material, impossibilitam a compatibilização adequada na fase de projeto. Os benefícios que podem ser alcançados com a correção desse problema são explicados pela ABDI-FEC (2009, p. 66-67):

Se termos como medidas reais, medidas nominais, medidas de coordenação e medidas modulares fossem utilizados da mesma maneira por todos os fabricantes e devidamente indicados em catálogos, embalagens e projetos técnicos, ter-se-ia maior facilidade de coordenação dimensional entre componentes, mesmo que esses componentes não fossem modulares ou que alterações nas suas medidas nominais de fabricação fossem alcançadas apenas em médio prazo. Além disso, muitos componentes não modulares podem ser utilizados em conjuntos modulares, bastando para isso que o fabricante indique a projetistas e construtores como se formam tais conjuntos.

Dados mais completos sobre o dimensionamento de componentes possibilitam a solução prévia e racional das interferências resultantes, o que é um primeiro passo em direção à coordenação modular. Ademais, permitem a arquitetos, construtores e consumidores diferenciar produtos em conformidade e produtos não conformes a fim de privilegiar as boas práticas.

Em segundo lugar, nos segmentos em que pequenas adequações são viáveis, é necessidade de primeira ordem adotar medidas de coordenação decimétricas, nunca medidas nominais decimétricas. A utilização de múltiplos de 10 cm para medidas nominais, sem a previsão do ajuste de coordenação, é comum na maioria dos segmentos, com exceção de blocos de concreto e cerâmicos. Esse é um indício de que não há desconhecimento do padrão decimétrico, mas que há um erro fundamental de compreensão, provavelmente associado à falta de clareza da normalização anterior à NBR 15873:2010.

A terceira consideração a ser feita diz respeito à necessidade de inclusão de conteúdo que estabeleça o controle da variedade nas normas técnicas dos diferentes segmentos da construção, bem como à adequação das mesmas à NBR 15873. É natural que o controle da variedade não seja uma determinação geral, porque o que para um segmento pode ser uma variedade necessária para outro pode ser excessiva. Entretanto, o módulo básico de 10 cm é uma unidade aditiva pequena demais para a maioria dos segmentos e acaba possibilitando uma variedade maior do que seria conveniente à indústria, à construção e mesmo ao

projeto de arquitetura. Em tal situação, não se garante a intercambialidade entre os fabricantes, tampouco a compatibilidade entre setores, já que não é possível saber os tamanhos a ser privilegiados na análise da integração. É ineficaz a inclusão de notas como as presentes na NBR 10821-2:2011 (ABNT, 2011a, p. 1) e na NBR 15930-2:2011 (ABNT, 2011b, p. 2) que determinam que as dimensões dos componentes devem ser compatibilizadas conforme a NBR 15873 em edificações que obedeçam à coordenação modular. É necessário que essas próprias normas se encarreguem de estabelecer requisitos dimensionais compatíveis à NBR 15873:2010.

Exceções feitas a essas referências inócuas, identificou-se apenas uma norma técnica posterior a 2010 (a NBR 6136:2014 – *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos*) que corrigiu seu conteúdo conforme os conceitos definidos pela NBR 15873:2010. Com os anos que se passaram desde sua publicação e as várias outras normas já revisadas ou publicadas nesse período, entende-se que o impacto da NBR 15873:2010 não tenha atingido todo o seu potencial. Considera-se conveniente a formação de uma comissão permanente de coordenação modular na ABNT, que atue junto a outras comissões na própria ABNT, no Inmetro e nos programas setoriais do PBQP-H para auxiliar na compatibilização das determinações.

Isso encerra as considerações pertinentes à normalização técnica e à padronização dos componentes industriais.

7.1.2 Requisitos humanos

A partir disso, procedeu-se com a investigação de requisitos humanos relacionados à coordenação modular, estabelecendo-se um contraponto às abordagens que a reduzem a um método que serve à lógica industrial, à racionalização e à economia. Nesta dissertação, entende-se que a coordenação modular é um ramo da coordenação dimensional e que, como tal, origina-se na concepção do espaço.

Foram examinados os fundamentos de ordem e proporção que originalmente se relacionaram ao tema, antecedendo as considerações produtivas. Averiguou-se que a repetição de dimensões e a retícula – que sob a lógica da construção servem para favorecer a produção em série e inter-relacionar componentes – têm, antes disso, o

papel de organizar a concepção e criar unidade diante da complexidade característica de um projeto arquitetônico. Essas relações constantes de tamanho, proporção e eixos de projeto são referência para a criação arquitetônica e também permanecem como realidade subjacente no espaço permitindo sua compreensão.

A retícula, como instrumento de ordenação, não é necessariamente o mesmo sistema de referência decimétrico uniforme de que trata a normalização da coordenação modular. Pode partir dele, mas usa os multimódulos de projeto para determinar outros espaçamentos entre eixos principais que conferem, por exemplo, ritmo à estrutura, hierarquia aos espaços e unidade à volumetria.

Alguns sistemas de dimensionamento baseados em geometria e razões matemáticas possuem propriedades visual e funcionalmente desejáveis. Entre eles, apurou-se que a simetria estática, aplicada na Antiguidade clássica e no Renascimento, é adequada à determinação de formatos preferenciais estandardizados que sirvam à composição arquitetônica. Todavia, observou-se que as preocupações referentes às propriedades da forma raramente são discutidas no âmbito de componentes industriais para a construção. Com frequência, incluir tais considerações no projeto de arquitetura requer produção de componentes sob encomenda ou adaptações na obra. Isso pode resultar em prejuízo estético para a solução, mas, visto que algumas formas têm mais capacidade de se combinar do que outras e que adaptações não são favoráveis ao método industrial, identifica-se igualmente perda de racionalidade.

Além disso, investigou-se como a coordenação modular se relaciona à qualidade, esta entendida como capacidade da construção em atender às expectativas dos usuários. Foi pontuado que as necessidades dos usuários são prioritárias em relação às necessidades dos demais intervenientes envolvidos na construção. As características do processo afetam o desempenho do produto, que, por sua vez, determina a satisfação do cliente; mas o processo gera o produto e serve ao usuário, não o inverso. Especialmente para a coordenação modular, tal distinção é importante porque a racionalização dos meios de produção serve a seus detentores e nem sempre resulta em qualidade para o usuário. Problemas surgem quando agentes alegam pretensas ações de racionalização e otimização para, na verdade, reduzir custos de construção que resultam em perda da qualidade. Não pode ser

ignorado o risco de transferência da responsabilidade da definição do dimensionamento para agentes que não tenham como objetivo a efetividade global do ambiente construído, mas que priorizem a efetividade em seu próprio segmento de atuação.

Diante disso, há três problemas identificáveis em pesquisas e publicações sobre coordenação modular nos últimos anos: a inadequação dos modelos de esquadria padronizadas em relação aos requisitos da arquitetura, principalmente no que concerne à iluminação e à ventilação dos espaços; a diminuição das áreas construídas em nome dos custos de construção; e a adoção de soluções rígidas de técnica construtiva e compartimentação dos espaços como modelo de racionalização construtiva e paradigma de coordenação modular. Agravando a situação, esses problemas ocorrem simultaneamente: o subdimensionamento das esquadrias é reforçado pela miniaturização dos espaços, que, por sua vez, é agravada pela compartimentação rígida.

Destacou-se que análises puramente funcionalistas e técnicas do dimensionamento acabam por cercear aspectos simbólicos, afetivos e espontâneos da relação que o homem desenvolve com o espaço. As pessoas querem se reconhecer em seu ambiente e ser reconhecidas por meio dele; para isso, o projeto precisa prever espaço (no sentido figurativo e também no sentido literal) a fim de que o modifiquem. O dimensionamento requer o estudo das atividades humanas e, como demonstrado, o tamanho mínimo do espaço crítico não é suficiente para acomodar a totalidade das relações que o homem tem com o espaço. A partir disso, não seria errado afirmar que ao crítico deve ser acrescentado um espaço intersticial que lhe proporcione flexibilidade. Ou seja, a partir da noção de espontaneidade e flexibilidade, o espaço que sobra pode ser essencial.

Procurou-se demonstrar que a crença absoluta na área como fator determinante para o custo não é correta. A solução do problema parece estar, sobretudo, em como se organiza o projeto e, para isso, a coordenação modular pode ser parte de um método de projeto que crie resultados flexíveis a partir de padrões combináveis e parâmetros replicáveis.

Além disso, é necessário entender que a crença da economia pelo mínimo constitui um obstáculo não só à qualidade, mas também à coordenação modular. Fabricantes

oferecem componentes com dimensões inadequadas; entidades de financiamento determinam áreas máximas insuficientes; incorporadoras e construtoras preestabelecem tipologias e técnicas construtivas rígidas. Nessa situação, a ideia de uma estrutura de ordenação subjacente que articula uma criação livre desaparece, resta um quebra-cabeças em que os encaixes predefinidos só permitem um mesmo resultado.

7.1.3 Perspectivas contemporâneas

A terceira unidade de análise empregada pelo método de investigação – arquitetura digital – prosseguiu defrontando a abordagem dominante da disciplina a outras perspectivas relevantes. Tendo em vista que a formulação teórica atual no Brasil está muito associada ao modelo seriado da segunda Revolução Industrial, foram examinadas as mudanças acarretadas pelas novas possibilidades de projeto e produção computadorizados.

Nesse âmbito, o primeiro aspecto investigado foi a associação entre a coordenação modular e *Building Information Modeling* (BIM) decorrente da modelagem de elementos construtivos como objetos paramétricos. Foi possível identificar, nos itens apresentados a seguir, os aspectos positivos da relação entre os dois temas:

- a) ambas, a coordenação e a modelagem paramétrica, exigem o entendimento dos subsistemas que compõem a edificação, conduzindo ao exercício da construção como inter-relação de elementos;
- b) pressupõem troca de informação entre os intervenientes da produção;
- c) antecipam a identificação de conflitos e evitam adaptações na obra;
- d) as representações tridimensionais em escala real contribuem para a compatibilização dimensional;
- e) a composição com objetos paramétricos é facilitada em projetos modulares; simultaneamente, a coordenação modular pode ter algumas funções automatizadas pela parametrização.

Não obstante, identificou-se também o risco de a programação de parâmetros de ajuste automático ser um atalho de projeto que não se traduza em resultados

eficientes na construção. A informatização, ao menos por ora, não elimina a necessidade da avaliação humana, em especial nos casos em que a racionalidade resulta da aplicação criteriosa de exceções. Além disso, a materialidade – precisa, rigorosa e estática – do computador nem sempre corresponde à materialidade da indústria e, principalmente, do canteiro de obras.

A investigação sobre os meios de produção digital na indústria e na obra chegou a conclusões similares. Existe uma vantagem expressiva gerada pela customização – trata-se da produção individualizada de grandes componentes, já que a padronização desses tradicionalmente tornava a solução arquitetônica mais rígida. No entanto, a tecnologia não pode ser superestimada. Os vários sistemas de produção digital diferem em seus limites e aplicações. Cada um transforma as matérias-primas de forma diferente e, por isso, também oferece possibilidades distintas em relação à liberdade da forma, da dimensão e da composição dos elementos. Ao avaliar a relação da produção digital com a coordenação modular, é importante relacionar as “liberdades” obtidas aos estágios de processamento da matéria-prima. Quanto mais afastado estiver o material de seu estado amorfo quando a tecnologia é aplicada, mais os princípios da coordenação modular permanecem válidos, porque alterações no contorno da forma exigirão mais etapas de processamento e/ou desperdício de material. Percebe-se que, de fato, a inovação tecnológica pode reduzir a importância da padronização rígida de componentes, mas a flexibilidade em relação à padronização não soluciona todas as implicações acarretadas pela singularidade do elemento e a arbitrariedade da forma.

Verificou-se que, diante das mudanças trazidas pela tecnologia, o termo “conectividade” aparece associado à coordenação modular para expressar a ideia de uma atualização da disciplina. Foi possível identificar três ideias distintas presentes nesse tipo de reflexão: a resolução das condições de união entre componentes; a customização do objeto possibilitada pelos avanços tecnológicos; e a flexibilização da construção como processo.

Parece verdade que, por um lado, a possibilidade de customização de componentes proporciona alguma facilidade à compatibilização dimensional, uma vez que é possível produzir tamanhos variados; por outro, a compatibilidade associativa, ou seja, solução do formato das juntas, se torna mais complexa em decorrência das

geometrias também variadas. Isso reconhecido, não é correto identificar o problema da união entre elementos como assunto propriamente novo, porque ele continua estabelecido sobre princípios já previstos na teoria da coordenação modular tal qual configurada na década de 1970.

A customização é um fenômeno contemporâneo que merece atenção: ela tem papel importante na competitividade dos produtos na sociedade de consumo atual porque permite adaptação do resultado às necessidades individuais e porque leva a um produto um valor proveniente de sua singularidade.

À primeira vista, a importância da customização pode servir de base a um discurso que desvalorize a coordenação modular, que vem associada à ideia de produção seriada. Os defensores dessa linha argumentam que a completa liberdade formal é a expressão adequada para comunicar o espírito técnico e ideológico contemporâneo. Entretanto, deve-se observar que essa arquitetura tem como marca uma expressão visual inflada, em especial na maneira como representa a renda e o luxo. Justamente por ter a exceção como fator determinante de sua reputação, não pode ser tomada como modelo hegemônico para a construção, ainda mais no Brasil.

A terceira ideia associada à conectividade refere-se a uma forma alternativa de abordar a customização, interpretada como variabilidade ao longo de um processo de tomada de decisões, não como singularidade da forma. É importante esclarecer que essa ideia, ainda que pouco explorada no Brasil, também não é novidade. Baseia-se nas investigações que surgiram no exterior, nas décadas de 1960, 1970 e 1980, em resposta aos padrões rígidos de industrialização pós-Segunda Guerra Mundial.

Essa customização, ou flexibilização, pode ser conseguida pela livre aplicação de elementos standardizados mediante a coordenação modular durante a construção e também durante a vida útil do edifício. Tal abordagem parece adequada ao ritmo atual das transformações no estilo de vida, nos padrões de consumo e nas possibilidades oferecidas pela tecnologia.

A situação econômica do país nos últimos anos não foi tratada nesta dissertação, mas é interessante destacar que as referências consultadas indicaram que a premissa de flexibilidade é uma estratégia eficiente em períodos de crise. Nesses

momentos, para que a construção se mantenha competitiva, é conveniente maximizar a relação satisfação/custo estabelecendo soluções facilmente adaptáveis pelo usuário, minimizando desperdícios e evitando retrabalho na produção. Nesse sentido, um método que possibilita a customização futura da construção parece mais efetivo do que a customização estática da forma, que pode se revelar rígida demais.

7.1.4 Projeto modular

A última unidade de análise estudada, o projeto modular, estrutura-se sobre alguns parâmetros verificados nas seções anteriores. Entre esses, principalmente o fato de que a coordenação modular exige um entendimento integrado de concepção e execução e de que a evolução no campo teórico aponta a flexibilidade como uma forma adequada de reunir customização e racionalidade. Desse modo, a investigação avança examinando aspectos do método.

As soluções parciais, assim como as abordagens estritamente baseadas nos componentes construtivos, não são suficientes para estudar a coordenação modular sob um ponto de vista metodológico. Aplica-se à disciplina uma visão integrada proveniente do conceito de sistema, caracterizado por partes (subsistemas) e relacionamentos. Acerca disso, verificou-se que a teoria dos sistemas e a coordenação modular convergem em três ideias: interação, regulabilidade e segregação progressiva.

Como sistema aberto, a coordenação modular requer, em primeiro lugar, uma estrutura de ordenação pouco rígida, relacionada às características essenciais do programa de usos e constituída pela identificação dos subsistemas e por parâmetros para seu comportamento. É conveniente, sempre que possível, não definir antecipadamente as soluções técnicas e os meios de produção; um vínculo prematuro representa um obstáculo a outras possibilidades de solução. À medida que o projeto se desenvolve, as soluções se especializam; contudo, é necessário que isso aconteça acompanhado de estratégias de dissociação para que decisões pontuais não afetem todo o conjunto. A dissociação pode ser obtida no projeto por um espaço vazio, por uma distância a ser coberta por um elemento de arremate ou, ainda, por sistemas de união articulados. A regulabilidade é, sobretudo, resultado da intenção de reservar espaço e estabelecer mobilidade nos encontros.

A partir disso, foram examinados mais a fundo os principais instrumentos que a coordenação modular oferece para a atividade de projeto: o sistema de referência definido conjuntamente com os multimódulos de projeto, e as diretrizes para a locação horizontal e vertical dos elementos sobre a retícula.

Verificou-se que a eficácia completa do método pede que ele seja aplicado desde os primeiros estágios da concepção e que evolua em etapas sucessivas de elaboração. Esses primeiros estágios significam que, em cada projeto, na atividade de criação, a coordenação modular é um dos instrumentos para a estruturação da solução, ainda que possa ter nessa ação graus diferentes de participação.

Não obstante, considera-se que há também benefícios sociais e econômicos (usados aqui no sentido de desenvolvimento do setor produtivo, não no sentido de economia) alcançáveis com a coordenação modular. Ela tem o potencial de integrar uma estratégia política que associe industrialização ao atendimento das necessidades das pessoas nas construções executadas ou financiadas pelo Estado. Depende, para isso, de uma ação ainda anterior à atividade de projeto que, recorrendo-se a Oliveri (1968), pode-se chamar de “metaprojeto”.

No metaprojeto, o Estado determina diretrizes cujo fim não é apenas o de exigir, de modo fracionado, a obediência a alguns padrões neste ou naquele segmento da indústria, mas, principalmente, promover ele mesmo e com atitude metodológica o desenvolvimento de produtos indústrias adequados a seus propósitos. A consulta da bibliografia possibilitou compreender que isso é possível mediante as seguintes ações, estabelecidas de forma geral ou no âmbito de um programa específico:

- a) elaborar um sistema de projeto que empregue categorias de componentes industriais das quais se definem características sem impor a tecnologia;
- b) estabelecer estratégias, como normalização, certificação e investimentos produtivos, para garantir, por um lado, a produção das categorias necessárias e, por outro, o controle da variedade, a intercambialidade e a compatibilidade;
- c) eliminar disposições desorganizadas e contraditórias das normalizações, exigências públicas e contratos;

- d) garantir mercados aos produtos, assegurando que a construção subsidiada ou contratada pelo poder público adotará os esquemas que envolvem esse sistema.

As considerações finais avaliam que o sucesso do método em relação à industrialização da construção e à qualidade dos espaços construídos requer capacidade de integração de intervenientes. Nessas relações, a investigação deve ser suficientemente aberta para acomodar a diversidade de usos e requisitos estabelecidos pelo homem em seu espaço. A arquitetura emprega os elementos da construção para construir abrigos resolvendo demandas técnicas e funcionais, mas enquanto arte tem neles meios de expressão. Em todos os casos, uma abordagem da coordenação modular fechada e determinista estaria, de partida, anulando muitas possibilidades de bons resultados.

7.2 CONCLUSÕES

Após as análises, as seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

- a) O desenvolvimento da construção civil, desde a década de 1980 até o momento presente, está marcado por mais uso de produtos industriais e maior controle das construtoras e das incorporadoras sobre a produção e o projeto. Acompanham esse cenário o afastamento da arquitetura de algumas etapas da produção e um descolamento entre concepção e execução.
- b) O programa habitacional foi determinante para a retomada das investigações neste século pelo envolvimento de agentes públicos e institucionais, universidades e representantes da indústria com o tema. Observou-se que o progresso da disciplina está relacionado às ações políticas de financiamento – tanto de pesquisas quanto da própria construção.
- c) Identificam-se ecos nas pesquisas recentes dos modelos estabelecidos pelo setor privado nas décadas de 1980 e 1990, com ênfase à racionalização e à aplicação de componentes industriais. Diante disso, é preciso destacar o fato de que a coordenação modular, como campo da coordenação dimensional, está ligada à ordenação do projeto e às necessidades humanas.

- d) A NBR 15873:2010 é eficaz ao apresentar conteúdo unificado e terminologia clara. Sua postura pouco prescritiva parece adequada, desde que sirva para a revisão ou a publicação de outras normas específicas. Ou seja, ela ainda precisa ser reconhecida por sua característica prioritária de indutora de melhorias, deixando às normas de cada segmento o papel de estabelecer o controle da variedade, a intercambialidade e a compatibilidade.
- e) O grau de adequação à coordenação modular e a conveniência de ações de correção variam entre os segmentos da indústria da construção civil no Brasil. As constatações gerais foram que as informações disponibilizadas pelos fabricantes ainda são inexatas e incompletas no que concerne às medidas de coordenação e nominais e aos ajustes de coordenação; e que o sistema decimétrico é usado de forma equivocada uma vez que o correto seria adotar medidas de coordenação decimétricas em vez de medidas nominais decimétricas.
- f) Características negativas associadas à aplicação da coordenação modular surgem quando pretensas ações de racionalização e otimização – que, na verdade, objetivam cortar custos – acabam reduzindo a qualidade do projeto. Diante disso, foram identificados três problemas recorrentes: a inadequação de modelos de componentes construtivos praticados pelo mercado, com destaque às esquadrias, a miniaturização dos espaços e a adoção de soluções rígidas de compartimentação.
- g) O termo “conectividade” expressa a três ideias distintas, que, na bibliografia de referência, são associadas ao desenvolvimento da coordenação modular: a união entre componentes, a customização possibilitada por avanços tecnológicos e a flexibilização da construção. A flexibilização, interpretada como variabilidade ao longo de um processo, porque permite a customização futura, parece mais eficaz do que a customização da forma, que pode, depois, se revelar rígida.
- h) A coordenação modular pode ser parte de uma estratégia política que associe industrialização e desenvolvimento da construção civil à qualidade na construção dos espaços públicos ou financiados pelo Estado. Para isso, depende de uma ação ainda anterior à atividade de projeto: desenvolver, com

uma atitude metodológica, um sistema geral de projetos e direcionar a produção industrial de elementos adequados à variedade de soluções necessárias para atender os requisitos humanos nos espaços habitados.

7.3 SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS

Para o desenvolvimento de outros trabalhos, sugere-se:

- a) Aprofundar-se na revisão da bibliografia de referência estrangeira que trata da coordenação modular e de temas recentes correlatos (apresentados na subseção 5.3, “Acepções contemporâneas”), assim como avaliar as estratégias adotadas pela normalização internacional.
- b) Atualizar a avaliação de adequação dos segmentos da indústria da construção à coordenação modular mediante coleta direta de dados, uma vez que a análise constante na subseção 3.3, “Dimensionamento praticado” desta dissertação se baseia, em grande parte, em fontes indiretas.
- c) Desenvolver uma investigação metodológica que aplique os princípios do metaprojeto e do projeto modular.
- d) Verificar, mediante estudos de caso, a aplicação da coordenação modular em projetos de arquitetura, com destaque para as escolas da Companhia de Construções Escolares do Estado de São Paulo (Conesp) e da Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE).

REFERÊNCIAS⁹²

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Relatório de acompanhamento das agendas estratégicas setoriais**: outubro 2014. Brasília, 2014. 124 p. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Relat%C3%B3rio%20Acompanhamento%20das%20Agendas%20Estrat%C3%A9gicas_PBM-outubro2014FINAL.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; FUNDAÇÃO EUCLIDES CUNHA. **Relatório de avaliação dos esforços para implantação da coordenação modular no Brasil**. [S.l.], 2009. 80 p. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Brasi_2l.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

AGÊNCIA BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL. **Manual de projeto de sistemas drywall – paredes, forros e revestimentos**. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.gypsum.com.br/shared/manual_projeto_sistemas.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2015.

AMORIM, S. R. L.; KAPP, S.; EKSTERMAN, C. F. **Manual de práticas recomendadas – Coordenação modular**: Caderno 1 – Projeto em habitação de interesse social. Rio de Janeiro, 2010a.

_____. **Manual de práticas recomendadas – Coordenação modular**: Caderno 2 – Vedações verticais. Rio de Janeiro, 2010b.

_____. **Manual de práticas recomendadas – Coordenação modular**: Caderno 3 – Revestimentos. Rio de Janeiro, 2010c.

_____. **Manual de práticas recomendadas – Coordenação modular**: Caderno 4 – Coberturas. Rio de Janeiro, 2010d.

_____. **Manual de práticas recomendadas – Coordenação modular**: Caderno 5 – Esquadrias. Rio de Janeiro, 2010e.

ANDRADE, M. L. V. X. **Coordenação dimensional como ferramenta para a qualidade em projetos de habitação popular**. 2000. 196p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

ANTUNES, B. Alvenaria estrutural. **Construção Mercado**, n. 41, jan. 2009. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/41/alvenaria-estrutural-281680-1.aspx>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

⁹² De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

ARANTES, P. F. **Arquitetura na era digital-financeira**: desenho, canteiro e renda da forma. 2010. 308 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS ENTIDADES DE CRÉDITO IMOBILIÁRIO E POUPANÇA. **Origem do SFH e SFI**. Disponível em: <<https://www.abecip.org.br/credito-imobiliario/historia>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5706**: coordenação modular da construção: procedimento. Rio de Janeiro, 1977.

_____. **NBR 5707**: posição dos componentes da construção em relação a quadricula modular de referência: procedimento. Rio de Janeiro, 1982a.

_____. **NBR 5708**: vãos modulares e seus fechamentos: procedimento. Rio de Janeiro, 1982b.

_____. **NBR 5709**: multimódulos: procedimento. Rio de Janeiro, 1982c.

_____. **NBR 5710**: alturas modulares de piso a piso, de compartimento e estrutural: procedimento. Rio de Janeiro, 1982d.

_____. **NBR 5711**: tijolo modular de barro cozido: padronização. Rio de Janeiro, 1982e.

_____. **NBR 5713**: altura modular de teto-piso: procedimento. Rio de Janeiro, 1982f.

_____. **NBR 5714**: painel vertical modular: procedimento. Rio de Janeiro, 1982g.

_____. **NBR 5715**: local e instalação sanitária modular: procedimento. Rio de Janeiro, 1982h.

_____. **NBR 5716**: componentes de cerâmica, de concreto ou de outro material utilizado em lajes mistas na construção coordenada modularmente: procedimento. Rio de Janeiro, 1982i.

_____. **NBR 5717**: espaço modular para escadas: procedimento. Rio de Janeiro, 1982j.

_____. **NBR 5718**: alvenaria modular: procedimento. Rio de Janeiro, 1982k.

_____. **NBR 5719**: revestimentos: procedimento. Rio de Janeiro, 1982l.

_____. **NBR 5720**: coberturas: procedimento. Rio de Janeiro, 1982m.

_____. **NBR 5721**: divisória modular vertical interna: procedimento. Rio de Janeiro, 1982n.

_____. **NBR 5722**: esquadrias modulares: procedimento. Rio de Janeiro, 1982o.

_____. **NBR 5723:** forro modular horizontal de acabamento (placas, chapas ou similares): procedimento. Rio de Janeiro, 1982p.

_____. **NBR 5724:** tacos modulares de madeira para soalhos na construção coordenada modularmente: procedimento. Rio de Janeiro, 1982q.

_____. **NBR 5725:** ajustes modulares e tolerâncias: procedimento. Rio de Janeiro, 1982r.

_____. **NBR 5726:** série modular de medidas: procedimento. Rio de Janeiro, 1982s.

_____. **NBR 5727:** equipamento para complemento da habitação na construção coordenada modularmente: procedimento. Rio de Janeiro, 1982t.

_____. **NBR 5728:** detalhes modulares de esquadrias: procedimento. Rio de Janeiro, 1982u.

_____. **NBR 5729:** princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente: procedimento. Rio de Janeiro, 1982v.

_____. **NBR 5730:** símbolos gráficos empregados na coordenação modular da construção: simbologia. Rio de Janeiro, 1982w.

_____. **NBR 5731:** coordenação modular da construção: terminologia. Rio de Janeiro, 1982x.

_____. **NBR 12825:** telha de fibrocimento, tipo canal. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 15270-1:** componentes cerâmicos, parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15270-2:** componentes cerâmicos, parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 6136:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria:– requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 14513:** telhas de aço revestido de seção ondulada: requisitos. Rio de Janeiro, 2008a.

_____. **NBR 14514:** telhas de aço revestido de seção trapezoidal: requisitos. Rio de Janeiro, 2008b.

_____. **NBR 14331:** alumínio e suas ligas: telha e acessórios: requisitos, projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR 15310:** componentes cerâmicos: telhas: terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009b.

_____. **NBR 14715-1:** chapas de gesso para drywall, parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2010a.

_____. **NBR 15873:** coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010b.

_____. **NBR 10821-2:** esquadrias externas para edificações, parte 2: requisitos e classificação. Rio de Janeiro, 2011a.

_____. **NBR 15930-2:** portas de madeira para edificações, – parte 2: requisitos. Rio de Janeiro, 2011b.

_____. **NBR 7581-3:** telha ondulada de fibrocimento, parte 3: padronização. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15463:** placas cerâmicas para revestimento: porcelanato. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-1:** edificações habitacionais: desempenho, parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 6136:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos. Rio de Janeiro, 2014a.

_____. **NBR 15210-1:** telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios, parte 1: classificação e requisitos. Rio de Janeiro, 2014b.

_____. **NBR 16497:** placa mineralizada de gesso para forro removível modular: requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **Como elaborar normas.** Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/elaboracao-e-participacao/como-se-elaboram>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

_____. **Comitês técnicos.** Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/comites-tecnicos>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

_____. **Definição.** Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

_____. **Objetivos.** Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/objetivos>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

BALDAUF, A. S. F. **Contribuição à implementação da coordenação modular da construção no Brasil.** 2004. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/4885>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

BALDAUF, A. S. F.; GREVEN, H. A. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada.** Porto Alegre: ANTAC, 2007.

72p. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao10/CAP5-REF.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**. 2a ed. Petrópolis: Vozes, 1975. 351 p.

BOUERI FILHO, J. J. **Antropometria aplicada à arquitetura, urbanismo e desenho industrial**. Ed. rev. São Paulo: FAU-USP, 1999. 152 p.

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. São Paulo: Perspectiva; Edusp, 1976. 312 p.

CARVALHO, A. P. A.; TAVARES, I. **Modulação no projeto arquitetônico de estabelecimentos assistenciais de saúde: o caso dos hospitais Sarah**. In: III FÓRUM DE TECNOLOGIA APLICADA À SAÚDE, 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, 2002. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/modulacao_hospitais_sarah.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2016.

CHING, F. D. K. **Arquitetura, forma, espaço e ordem**. São Paulo: Martins Fontes, 2002. 399p.

CICHINELLI, G. BIM na baixa renda. **Construção Mercado**, ed. 126, jan. 2012. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/126/artigo282596-1.aspx>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

CIRIBINI, G. La coordinación modular como “metadiseño”. **Revista SUMMA**, Buenos Aires, n. 103, ago. 1976.

CIRQUEIRA, C. B. R. P. **A coordenação modular como ferramenta de projeto de arquitetura e levantamento de componentes normatizados no mercado da construção civil do Distrito Federal**. 2015. 117 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/18147>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

CLARK, R. H. **Arquitectura**: temas de composición. México: Gili, 1997, 274 p.

CLARK, R. H.; PAUSE, M. **Arquitectura**: temas de composición. Barcelona: Gili, 1983, 240 p.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Manual de projetos de alvenaria de vedação**. Campinas, 200?. 37 p. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/ativos/95/manual-de-projetos-de-alvenaria-de-vedacao.html>>. Acesso em: 06 fev. 2017.

CONTIER ARQUITETURA. **Tutorial Minha Casa, Minha Vida**. São Paulo, 2011. Disponível em: < <http://contier.com.br/downloads-1/mcmv-em-bim-2>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

CORCUFF, M. Modularity and Proportions in Architecture and their Relevance to a Generative Approach to Architectural Design. **Nexus Network Journal, Basel**, vol. 14, n. 1, p. 53-73, 2012.

CREASE, R. P. **A medida do mundo**: a busca por um sistema universal de pesos e medidas. Rio de Janeiro: Zahar, 2013. 295p.

CUPERUS, Y. **An Introduction to Open Building**. In: 9th ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, Singapura, 2001. **Proceedings...** Cingapura, 2001. Disponível em: <<http://cic.vtt.fi/lean/singapore/CuperusFinal.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

CUPERUS, Y.; OBOM RESEARCH GROUP; DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF ARCHITECTURE. **Mass Customization in Housing an Open Building/ Lean Construction Study**. In: DENSE LIVING URBAN STRUCTURES INTERNATIONAL CONFERENCE ON OPEN BUILDING, Hong Kong, 2003. **Proceedings...** Hong Kong: Department of Architecture, The University of Hong Kong, 2003. Disponível em <<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB12293.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2016

CUPERUS, Y.; NAPOLITANO, P. **Open Building/Lean Construction Evaluation of a Case in Brazil**. In: 13th ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2005, Sydney, Australia. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/392>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

DYER, E. Interview with Herman Hertzberger. **Architecture and education**, fev. 2016. Disponível em: <<https://architectureandeducation.org/2016/02/03/interview-with-herman-hertzberger/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

ELAM, Kimberly. **Geometry of Design**: Studies in Proportion and Composition. Nova York: Princeton Architectural Press, 2011. 143p.

ESPÍNDOLA, Luciana R. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios da coordenação modular e conectividade**. 2010. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93836>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

FERREIRA, A. F.; MELLO, M. G. **Arquitetura escolar paulista**: estruturas pré-fabricadas. São Paulo: FDE, 2006.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. Novas pesquisas incentivam a conexão entre componentes e sistemas construtivos. **Revista Habitare**, dez. 2006. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/ConteudoGet.aspx?CD_CONTEUDO=432>. Acesso em: 20 ago. 2015.

_____. **Rede de Pesquisa 2:** Desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para a habitação de interesse social: enfoque na Coordenação Modular. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://issuu.com/habitare/docs/habitare_rede_de_pesquisa_2_final>. Acesso em: 30 ago. 2015.

FONSECA, N. A. **A arquitetura do mercado imobiliário e seu processo de produção na cidade de São Paulo.** 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

_____. **O processo de produção da arquitetura do mercado imobiliário.** In: X ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <<http://unuhospedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/view/2124/2083>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

FRINGS, M. The Golden Section in Architectural Theory. **Nexus Network Journal**, vol. 4, n. 2, 2002.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Catálogo de serviços:** especificações da edificação escolar. São Paulo, 2016. Disponível em <<https://produtostecnicos.fde.sp.gov.br/Pages/CatalogosTecnicos/Default.aspx>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

Grande dicionário Houaiss. Disponível em: <https://houaiss.uol.com.br/pub/apps/www/v3-0/html/index.htm#0>. Acesso em: 07 mar. 2017.

GRINOVER, Marina Mange. **Laboratório de projeto e construção:** prática da arquitetura na obra de Renzo Piano e João Filgueiras Lima. 2015. 444 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

GRUPO DE PESQUISA MOM. **Coordenação modular na construção civil.** Disponível em: <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/23_cm/p_pdf/pdf/cm-todos.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2016.

_____. **Desfazendo mal-entendidos.** Disponível em: <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/23_cm/index.html>. Acesso em: 31 jul. 2016.

HABRAKEN, N. J. et al. **El diseño de soportes.** Barcelona: GG Reprints, 2000. 210 p.

HELM, V. et al. In-Situ Robotic Construction: Extending the Digital Fabrication Chain in Architecture. In: 32nd SYNTHETIC DIGITAL ECOLOGIES: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE, São Francisco. **Proceedings...** São Francisco: California College

of the Arts, 2012. p. 169-176. Disponível em: <http://cumincaad.architecture.net/system/files/pdf/acadia12_169.content.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2015.

HERTZBERGER, H. **Lições de arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Sistema Internacional de Unidades**: SI. Duque de Caxias: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si-versao_final.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2017.

_____. **O que é o Inmetro**. 2016. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

JENKINS, D. **Financial Times Print Works**: Nicholas Grimshaw and Partners. Londres: Phaidon Press, 1994. np.

KAPP, S.; BALTAZAR, A. P.; MARCANDIER, R. **Interface digital de apoio à produção de moradias**: princípios, componentes e processos para a construção coordenada modularmente – Relatório final. Belo Horizonte: Departamento de Projeto da Escola de Arquitetura da UFMG, 2009.

KENCHIAN, A. **Qualidade funcional no programa e projeto de habitação**. 2011. 541p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16138/tde-27012012-123040/pt-br.php>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

KOLAREVIC, B. (org.) **Architecture in the Digital Age**: Design and Manufacturing. Nova York: Spon Press, 2003.

KRISLOV, S. **How Nations Choose Product Standards and Standards Change Nations**. Pittsburgh: University of Pittsburg Press, 1997.

LACERDA, P. A. R. **Estudo comparativo entre um orçamento convencional de construção e um orçamento com a utilização de coordenação modular**: aplicação em alguns serviços de uma residência unifamiliar de classe média-baixa. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13464>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

LE CORBUSIER. **The Modulor**: a Harmonious Measure to the Human Scale Universally Applicable to Architecture and Mechanics. Boston: Birkhauser, 1954.

LIMA, J. F. **Escola transitória, modelo rural**. Brasília: MEC/CEDATE, 1984. Disponível em: <<http://www.dominipublico.gov.br/download/texto/me002655.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2015

LOTURCO, B. Módulo de projeto. **Téchne**, n. 138, set. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/138/modulo-de-projeto-286539-1.aspx>>. Acesso em: 29 set. 2016.

LU, N.; KORMAN, T. M. **Opportunities for Advancement of Modular Construction Projects Using Building Implementation Modeling**. Charlotte: University of North Carolina, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268259599_Opportunities_for_Advancement_of_Modular_Construction_Projects_using_Building_Implementation_Modeling_BIM>. Acesso em: 2 fev. 2017.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias**. São Paulo: Pini, 2001.

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1998.

MASCARÓ, L. R. Coordinació modular ¿qué es? **Revista SUMMA**, Buenos Aires, n. 103, ago. 1976.

MENEZES, E. M.; SILVA, E. L. da. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

MENEZES, G. L. B. B. Breve histórico de implantação da plataforma BIM. **Cadernos de Arquitetura Urbanismo**, v. 18, n. 22, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/Arquiteturaeurbanismo/article/viewFile/3363/3719>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

MENEZES, G. L. B. B.; LELIS, R. L. S. **Desafios da padronização nacional de componentes BIM**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN, 9, 2013, Currais Novos. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/1249/140>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

MILTON, Hans J. **International and national standards on dimensional coordination, modular coordination, tolerances and joints in building**. Washington: National Bureau of Standards, 1980. Disponível em: <https://play.google.com/books/reader?id=SrBw9c_3lawC&printsec=frontcover&output=reader&hl=en&pg=GBS.PP1>. Acesso em: 29 dez. 2016.

MONTEIRO, A.; FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. Paradigmas de representação de modulação de alvenarias em ferramentas BIM. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 4, n. 2, nov. 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/viewFile/50959/55044>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

MOURA, A. D. S. **Novas soluções, velhas contradições: a dinâmica cíclica da industrialização em sua forma canteiro**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo

2011. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-02022012-104829/pt-br.php>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

NARDELLI, E. S. et al. **Teste de assertividade da biblioteca de componentes BIM do MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio do Brasil**. In: SIGRADI 2011 CULTURA AUMENTADA, 2011. Santa Fé. **Anais eletrônicos...** Santa Fé: FADU-UN, 2011. Disponível em: <<http://www.asbea.org.br/download/380.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

NEUFERT, E. **Arte de projetar em arquitetura**. 17a ed. rev. ampl. São Paulo: Gili, 2004. 618 p.

NIJS, J. C.; DURMISEVIC, E.; HALMAN, J. I. M. Interface Design for Open Systems Building. **Open House International**, Enschede, v.36, n.1, mar. 2011, p. 35-43. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/232274114_Interface_Design_for_open_systems_building>. Acesso em: 23 jan. 2017.

OKAMOTO, J. **Percepção ambiental e comportamento: visão holística da percepção ambiental na arquitetura e comunicação**. São Paulo: Plêiade, 1996.

OLIVERI, G. M. **Prefabbricazione o metaprogetto edilizio**. Milão: ETAS Kompass, 1968. 179 p.

PEARSON, M. P.; RICHARDS, C. **Ordering the World: Perceptions of Architecture, Space and Time**. In: _____. **Architecture & Order: Approaches to Social Space**. Londres: Routledge, 1997. p. 1-37.

PEREIRA, A. C. W. **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação**. 2005. 139p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

PORTO, C. E. Pré-fabricação e montagem manual caracterizam os projetos habitacionais criados por Lelé para o programa Minha Casa, Minha Vida. **Arquitetura e Urbanismo**, n. 208, jul. 2011. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/artigo224303-1.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

_____. **Projetos**: sistema de qualificação de empresas de materiais, componentes e sistemas construtivos SiMac. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac.php>. Acesso em: 25 mar. 2016.

REIS, P. Pilares modulados otimizam forro. **Construção Mercado**, n. 123, out. 2011. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/123/artigo299545-1.aspx>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

RIBEIRO, M. S.; MICHALKA, C. A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção civil no Brasil. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes, n. 3, p. 89-107, set/dez. 2003. Disponível em: <<http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/1809-2667.20030021/1111>>. Acesso em: 28 fev. 2016.

ROMCY, N. M. S. et al. Desenvolvimento de aplicativo em ambiente BIM, segundo princípios da Coordenação Modular. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 23-39, abr./jun. 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/42885/29849>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular**. São Paulo: Instituto de Engenharia USP, 1976.

_____. **Racionalização da construção**. São Paulo: FAU-USP, 1980.

RUSSEL, A. L. **Modularity: An Interdisciplinary History of an Ordering Concept. Information & Culture**, Texas, v. 47, n. 3, p. 257-287, 2012.

SÃO PAULO (Cidade). **Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo**: Lei nº 11.228, 25 jun. 1992. Dispõe sobre as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização de obras e edificações. São Paulo: Classe A, 1992.

SEBRAE. **Relatório de inteligência setorial – Construção Civil – PBQP-H**. Brasília: Ministério das Cidades, 2015. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/download_doc.php>. Acesso em: 25 mar. 2016.

SHIMBO, L. Z. **Os mercados da habitação social no Brasil: articulando política habitacional, setor imobiliário e construção civil**. In: XV ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 2013, Recife. **Anais eletrônicos...** Recife: Encontro Nacional da ANPUR, 2013. Disponível em: <<http://unuhospedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/view/4524/4393>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Workshop Coordenação Modular**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://sindusconsp.com.br/msg2.asp?id=1257>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

SOARES, A. P. **A aplicação da coordenação modular para o projeto de vedações verticais em alvenaria**. 2008. 110 p. Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://poliintegra.poli.usp.br/library/pdfs/fbdfca1801b3dd2bcb30c771edb7ab41.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2016.

STAIB, G.; DÖRRHÖFER, A.; ROSENTHAL, M.. **Components and Systems, Modular Construction: Design Structure, New Technologies**. Munique: Birkhauser, 2008.

VAN RANDEN, A. Nodes and Noodles. Eindhoven: Open House, 1976. Disponível em: <http://www.obom.org/DOWNLOADS2/Nodes&Noodles.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2017.

VARGAS, N. **Organização do trabalho e capital**: um estudo da construção habitacional. 1979. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1979.

VASSÃO, C.A. **Arquitetura Livre**: complexidade, metadesign e ciência nômade. 2008. 312 p. Tese (Doutorado em Design e Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16134/tde-17032010-140902/pt-br.php>>. Acesso em: 04 fev. 2017.

VITRUVIUS POLLIO, M. **Tratado de arquitetura**. Tradução de M. Justino Maciel. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

ZECHMEISTER, D. **Estudo para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/7129>>. Acesso em: 11 fev. 2017.