

**DIRETRIZES-BASE PARA CRIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE
SISTEMAS CONSTRUTIVOS RADICALMENTE INOVADORES, INTELIGENTES
E SUSTENTÁVEIS PARA EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS NO BRASIL:
DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE MERCADO COM FOCO NA VALORIZAÇÃO
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Paulo César Fortes¹

Orientador: Bernardo Fonseca Tutikian²

Resumo: O objetivo deste artigo é definir e elaborar funções desempenhadas que conferirão aos sistemas construtivos a qualidade intrínseca e inequívoca de *sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis para edificações habitacionais*. Com foco na construção industrializada limpa e enxuta, nas inovações tecnológicas, nas pesquisas científicas e na sustentabilidade, esses sistemas construtivos deverão ser a forma mais eficiente para se construir edificações de melhor qualidade, desempenho e sustentabilidade para que os recursos naturais renováveis e não renováveis de nosso planeta possam ser geridos racionalmente. O estudo apresenta a definição e a elaboração das diretrizes-base para criação e desenvolvimento de *sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis para edificações habitacionais*, mostrando que é possível inovar o conceito de projeto e execução de obras habitacionais, observando critérios regionais, climáticos, sociais, econômicos e ambientais do nosso país. Os resultados alcançados intensificam, multiplicam e qualificam as possibilidades de aplicação das diretrizes-base para a geração de inovações tecnológicas, pesquisas científicas, novos materiais, produtos e serviços. São excelentes oportunidades para cientistas, pesquisadores e empresas que vislumbram a inovação na construção civil como forma de competir no mercado, num cenário onde falta profissional altamente especializado, devido à carência de Cursos de Pós-Graduação e de Extensão específicos para criação e desenvolvimento de sistemas construtivos industrializados, integrados a funções complexas de desempenho desejado definidos em normas.

Palavras-chaves: Diretrizes-base. Sistemas construtivos inovadores, inteligentes e sustentáveis. Inovações tecnológicas. Pesquisas científicas. Sustentabilidade.

¹ Paulo César Fortes é arquiteto e pós-graduando do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade – da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). E-mail: pfortesarq@gmail.com.

² Bernardo Fonseca Tutikian é Doutor em Engenharia e coordenador do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). E-mail: bftutikian@unisinos.br.

1 Introdução

Inovações tecnológicas na construção civil, aplicadas ao novo paradigma das edificações do futuro, com o objetivo de se criarem *sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis* deverão ser a forma mais eficiente para se construir edificações de melhor qualidade, desempenho e sustentabilidade para que os recursos naturais renováveis e não renováveis de nosso planeta possam ser geridos racionalmente.

Os *sistemas construtivos* são prioritariamente a base da definição de todos os processos de projeto e execução das edificações, sendo a sua criação de vital importância para o desempenho das funções a que se propõem. Este artigo pretende definir e elaborar funções de desempenho com valor agregado que conferirão, aos sistemas construtivos, qualidades tecnológicas essenciais para aplicação do novo paradigma das edificações do futuro, com foco direcionado às edificações habitacionais de nosso país. São edificações que precisam ter melhor qualidade, desempenho e sustentabilidade e que constituem um setor estratégico da construção civil brasileira, responsável pela maior demanda, com impactos sobre o meio ambiente, a sociedade e a economia.

A revisão bibliográfica terá, como partida, dentre outras, a literatura especializada das disciplinas do Curso de Pós-Graduação em Construção Civil da UNISINOS, período 2012/2013 (em curso pelo autor). Além disso, cita as normas da ABNT, especialmente a Norma NBR-15575, “Norma de Desempenho”, para respaldar o presente trabalho, sendo traçado, por vezes, um paralelo entre a ABNT NBR 15575 e a revisão bibliográfica. Para a pesquisa científica, é utilizado o método de seleção, análise e comparação investigativa.

As *diretrizes-base* são de vital importância para a criação e o desenvolvimento de sistemas construtivos complexos, mas falta profissional altamente especializado para idealizar o *design* de sistemas construtivos industrializados, integrados às funções de desempenho desejado. Nossas universidades não oferecem Cursos de Pós-graduação em “*Tecnologia e Modelagem de Sistemas Construtivos radicalmente Inovadores, Inteligentes e Sustentáveis*”, com foco nas funções de desempenho desejado que os caracterizem. Os resultados encontrados no decorrer do presente estudo revelam e confirmam que o mercado da construção civil brasileira está carente de novos materiais, produtos e serviços para se desenvolver. São excelentes oportunidades para profissionais, pesquisadores e empresas que queiram se dedicar ao ofício de inovar na construção civil como forma de competir no mercado, projetando e executando edificações dignas do século XXI.

O presente trabalho inicia com a contextualização do tema frente aos desafios e oportunidades do novo paradigma da construção civil no Brasil. Continua com as considerações de atendimento às normas da ABNT, especialmente a Norma de Desempenho, ABNT NBR-15575, pelo sistema construtivo proposto neste artigo, ou seja, radicalmente inovador, inteligente e sustentável³. Avança com a revisão bibliográfica das funções desempenhadas pelos sistemas construtivos industrializados, com foco na construção limpa e enxuta, nas inovações tecnológicas e nas pesquisas científicas aplicadas ao novo paradigma das edificações do futuro. Remete essas considerações às diretrizes-base para criação do sistema construtivo proposto. Finaliza com uma perspectiva de mercado promissor para profissionais, pesquisadores e empresas que queiram investir na produção de novos materiais, produtos e serviços, como forma de competir no mercado da construção civil no Brasil.

2 O novo paradigma da construção civil no Brasil: desafios e oportunidades

Estamos atravessando uma época de muitas transformações em todas as áreas do conhecimento humano, devido ao grande desenvolvimento econômico que é constantemente alavancado e impulsionado pelas inovações tecnológicas advindas das descobertas científicas realizadas por profissionais e pesquisadores de todos os continentes. Tais pesquisas, descobertas e tecnologias estão cada vez mais disputadas para resolver questões urgentes e impactantes para o desenvolvimento da vida social da atualidade e das gerações futuras, com o objetivo único de assegurar a melhor qualidade de vida em nosso planeta, e, agora, também com responsabilidade para garantir a sustentabilidade. Devemos nos posicionar, compreender que esta é a mais importante ordem a ser cumprida, e atendê-la. Neste sentido, cientistas e pesquisadores procuram direcionar o objeto de seu trabalho à nova ordem social existente, que se caracteriza como um “*mundo em rápida transformação*”⁴, onde as várias nações disputam, na globalização do planeta, o desenvolvimento de suas economias, muitas delas objetivando apenas o lucro desenfreado e sem sustentabilidade.

As economias mais sustentáveis têm desenvolvimento maior e mais acelerado, devido às rápidas transformações proporcionadas pelas inovações tecnológicas que são implantadas em seus parques tecnológicos e fabris. Conseguem maior competitividade frente à globalização, e a consequência disso é a perda de mercado por parte das outras economias,

³ No presente trabalho, o sistema construtivo radicalmente inovador, inteligente e sustentável que propomos será referido apenas como “*sistema construtivo proposto*”.

⁴ Expressão utilizada pela Professora Doutora Edna Possan, na palestra intitulada “Inovação na construção: desafios e perspectivas”, realizada na UNISINOS (Porto Alegre), em 08 de março de 2013.

que não estão, ainda, preocupadas com a questão da sustentabilidade. Este novo cenário econômico traz consigo a estagnação das economias não sustentáveis, e será necessária uma mudança radical para se tornarem sustentáveis e mais competitivas, ou, então, essas economias terão de importar novas tecnologias das economias sustentáveis, tornando-se dependentes dos agentes promotores destas.

No mundo globalizado, em constante transformação, a disputa por novos mercados está alicerçada, cada vez mais, em produtos sustentáveis, e este novo paradigma está revolucionando o modo como as nações pretendem melhorar, atualmente, o desenvolvimento de suas economias. Seu maior ou menor desenvolvimento econômico depende dessa transformação, e as nações terão que investir muito e pesado num mercado cada vez mais exigente e competitivo.

De acordo com Ricardo Ojima (2008), o século XXI é marca de uma mudança global, a maioria da população mundial passa a viver nos centros urbanos. Mais de 80% da população brasileira vive em cidades, e a cidade é o maior artefato produzido pelo homem. É no seu espaço urbano que ocorrem as maiores invenções humanas, portanto, ela é lugar estratégico para “estratégias”. A maioria das cidades brasileiras possui, hoje, imensos processos de exclusões, fragmentações e desintegrações de suas políticas ambientais, culturais, econômicas e sociais.

Os projetistas têm, agora, uma grande responsabilidade para projetar e executar as edificações nos espaços urbanos. Passam, atualmente, por um processo sistêmico de definição e elaboração de diretrizes-base para criação e desenvolvimento de *sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis*. Esse novo processo dá início às *novas arquitetura e engenharia* do terceiro milênio, e configura o marco histórico do seu nascimento. São sistemas construtivos estratégicos para o desenvolvimento da construção civil, com ganhos de valor agregado e de impactos no meio ambiente, na sociedade e na economia.

As respostas para todas as questões que deverão ser solucionadas para alcançarmos o objetivo de inovar na construção civil estão alicerçadas na nossa capacidade de gerar *inovações tecnológicas* que possam ser aplicadas com total eficiência ao ambiente construído. É aqui que devemos concentrar nossa atenção: na busca deste conhecimento em laboratórios especializados e centros de pesquisas das universidades, em programas do Governo Federal para geração de inovações tecnológicas, em indústrias e empresas privadas, através de cientistas, pesquisadores e profissionais de várias áreas do conhecimento, isto é, em lugares

onde se produz todo o conhecimento necessário para criação e desenvolvimento de sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis.

A pesquisa científica irá nos responder quais são as necessidades dos usuários diante do novo paradigma, como também o grau de comprometimento da sociedade em gerar conhecimento para o desenvolvimento das inovações tecnológicas de que precisamos.

Vanderley M. John⁵ faz as seguintes afirmações:

O grosso do que nós produzimos ainda está baseado em uma tecnologia de cem anos atrás. Houve inovações, mas a base dos materiais não mudou. Vamos precisar de coisas radicalmente inovadoras. [...] A maioria do que aparece de inovação é para baixar o preço das obras. Temos que pensar em um jeito de mudar esse cenário. [...] Nós formamos engenheiros não para imaginar como serão feitos os prédios do futuro, mas sim para como fazer direito os prédios do presente⁶. (JOHN, 2011, grifo nosso).

Conforme declara o engenheiro, a construção civil brasileira foi criada a partir da importação de tecnologias antigas, não inova e continua assim até hoje. Falta maior investimento do governo em pesquisa e inovação; faltam engenheiros para trabalhar em inovações tecnológicas, porque não podem largar o montante de obras que já estão em andamento; devido ao forte aquecimento do setor, não há interesse por partes de alguns engenheiros em trabalhar em pesquisa e inovação. John (2011) enfatiza que a busca por inovação tem de passar por questões ambientais, sociais e econômicas e demonstra preocupação quanto às escolas brasileiras, que ensinam a construir sempre os mesmos prédios em todos os lugares, não considerando as diferenças regionais, climáticas e urbanas.

Este cenário demonstra que a construção civil, no Brasil, está carente de novos materiais, produtos e serviços para se desenvolver. Isso é consequência da falta de investimento do governo e da falta de engenheiros, arquitetos e profissionais especializados para trabalhar em pesquisas e inovações tecnológicas. Essa situação mostra que é necessária a reestruturação do ensino nas universidades para a formação de profissionais altamente capacitados para atender a esse novo paradigma.

Fica evidente que o processo de inovação na construção civil deve congrega todos os intervenientes e cadeia produtiva. A conjuntura para se inovar na construção civil brasileira

⁵ Professor de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) e membro da coordenação das Engenharias da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

⁶ Informação registrada durante a palestra intitulada “Inovação em materiais: Como a pesquisa para criação de novos materiais e novas aplicações para materiais existentes podem contribuir para soluções em construção civil”, proferida durante o 4º Simpósio Brasileiro da Construção Sustentável (SBCS11), realizado em 4 de agosto de 2011, pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), em São Paulo.

encontra, na proposta do presente artigo, razões convincentes para um processo de solução viável às edificações habitacionais no Brasil. Torna-se necessário definir e elaborar as diretrizes-base para a criação e desenvolvimento do sistema construtivo proposto, atendendo aos desafios e oportunidades. Há, portanto, uma mudança radical dos processos de projeto e execução das edificações habitacionais, compatibilizados com esse sistema construtivo. São alinhados critérios e parâmetros de qualidade, desempenho e sustentabilidade a um processo de produção mais exequível, totalmente industrializado e, principalmente, acessível à população brasileira.

3 Considerações sobre a implicação da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575 e das demais Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

Conforme o “Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013”, a norma ABNT NBR 15575/2013, “Edificações Habitacionais – Desempenho”, entra oficialmente em vigor em de 19 de julho de 2013 e “constitui importante e indispensável marco para a modernização tecnológica da construção civil brasileira e melhoria da qualidade de nossas habitações” (GUIA..., 2013, p. 6-7). Com o objetivo de estabelecer padrões de desempenho para a eficiência das edificações, a norma de desempenho servirá de referência para a avaliação da qualidade das edificações habitacionais em nosso país.

Desempenho, definido por essa norma, significa:

Comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. [...] O desempenho da mesma edificação poderá variar de um local para outro e de um ocupante para outro (cuidados diferentes no uso e na manutenção, por exemplo). Ou seja, variará em função das condições de exposição. (GUIA..., 2013, p.30, grifo nosso).

O Guia Orientativo apresenta, em seu preâmbulo, o seguinte:

A norma NBR 15575 foi redigida segundo modelos internacionais de normalização de desempenho. Ou seja, para cada necessidade do usuário e condição de exposição, aparece a sequência de Requisitos de Desempenho, Critérios de Desempenho e respectivos Métodos de Avaliação. O conjunto normativo compreende seis partes:

Parte 1: Requisitos gerais;

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Cada parte da norma foi organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade

do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental).

[...] Para todos os critérios incluídos na norma NBR 15575, foi estabelecido um patamar mínimo (**M**) de desempenho, que deve ser obrigatoriamente atingido pelos diferentes elementos e sistemas da construção. Para alguns critérios são indicados outros dois níveis de desempenho, intermediário (**I**) e superior (**S**), sem caráter obrigatório e relacionados em “Anexos Informativos”, presentes nas diferentes partes da norma.

[...] Finalmente, ressalte-se que as exigências dos usuários das habitações envolvem diversos outros elementos e sistemas (condicionamento de ar, gás combustível, telecomunicações, elevadores, segurança e automação predial, etc.) que não foram contemplados no atual estágio da normalização brasileira. Para as fundações, no momento, foram consideradas suficientes as exigências registradas na norma NBR 6122 – “Projeto e execução de fundações”, o mesmo ocorrendo em relação à norma NBR 5410 – “Instalações elétricas de baixa tensão”. (GUIA..., 2013, p.20-21, grifos do autor).

As normas de desempenho introduzem uma mudança importante em relação às normas tradicionais. O desenvolvimento e aplicação de produtos devem atender às necessidades da construção, ou seja, atender aos desempenhos especificados em normas.

Ao contrário das normas tradicionais, que prescrevem características dos produtos com base na consagração do uso, normas de desempenho definem as propriedades necessárias dos diferentes elementos da construção, independentemente do material constituinte. No primeiro caso, deve-se utilizar o produto em atendimento às suas características. No segundo, deve-se desenvolver e aplicar o produto para que atenda às necessidades da construção. (GUIA..., 2013, p.20-21).

No presente trabalho, torna-se necessário o cumprimento das normas técnicas da ABNT, especialmente da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575, como *padrão de referência de desempenho* ao sistema construtivo proposto, com o objetivo de balizar e respaldar a definição e elaboração das diretrizes-base. Seu padrão de referência de desempenho, aplicado em sua totalidade, possibilitará melhor entendimento dos padrões de desempenho definidos por essa norma e disseminação de sua aplicação. Por vezes, serão feitas referências às funções de desempenho das diretrizes-base, que adotarão o mesmo conceito de desempenho utilizado por esta norma, “*comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas, em função das condições de exposição*”.

A Norma de Desempenho visa avaliar o desempenho de sistemas construtivos habitacionais, e constitui-se no caminho para a evolução de todos os que compõem a cadeia da construção civil no Brasil.

4 A visão sistêmica das diretrizes-base: implicação, metodologia, objetivos, e justificativa

Na visão do autor deste artigo, os sistemas construtivos industrializados para edificações habitacionais têm importância estratégica; suas funções e propriedades possibilitarão melhor desempenho através dos parâmetros e critérios das diretrizes-base, objeto do presente trabalho. Assim, pretende-se que estes tenham seus desempenhos especificamente balizados para as funções a que se propõem, as quais definem as propriedades que estamos buscando. As propriedades necessárias às suas funções serão as que foram selecionadas pelo autor deste trabalho, cuja implicação e interação dão a visão sistêmica essencial para lhe conferir a qualidade intrínseca e inequívoca de *sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis*.

As propriedades que foram selecionadas são as da *construção industrializada limpa e enxuta*; das *inovações tecnológicas*; das *pesquisas científicas* e do *novo paradigma das edificações do futuro*. Conjuntamente, irão exercer funções básicas e complementares indissociáveis, interagindo entre si, com hierarquia de desempenho variada, entre componentes, subcomponentes, elementos, sistemas, subsistemas e interfaces, gerando uma base de dados unificada, relativamente complexa, de diretrizes-base para criação e desenvolvimento do sistema construtivo proposto.

A metodologia utilizada priorizou a pesquisa aplicada a funções de desempenhos desejados. A aplicação das funções de desempenho consiste em definir e elaborar as diretrizes-base, a partir da visão sistêmica do seu *projeto executivo completo e resolvido*, para equacionar o detalhamento ordenado de todas as suas partes constituintes. Todos os componentes, subcomponentes, elementos, sistemas, subsistemas e interfaces deverão ser estudados e projetados para serem totalmente industrializados, possibilitando a garantia dos desempenhos especificados, a saber: maior vida útil, conservação e manutenibilidade, flexibilização para sua reutilização, desempenho, sustentabilidade, e, após vida útil, descarte através da reciclagem de seus resíduos.

O desafio para edificar construções, também para as gerações futuras, estende, a estas, novos conceitos para seu projeto e execução, cujos processos industrializados de produção sejam cada vez mais a resposta de inovações e tecnologias, desenvolvidas com base em desempenhos definidos em normas. Ser sustentável é assumir responsabilidades, mudar hábitos e transformar o cotidiano para que todos vivam melhor, preservando a biodiversidade da natureza, a qual nos fornece a sabedoria de 3,8 bilhões de anos de pesquisa e desenvolvimento, revelando seus princípios básicos e fundamentais. Com isso, aprendemos a desenvolver o conhecimento necessário para nos adaptar às necessidades de sobrevivência deste planeta.

Aprender com a natureza é o caminho encontrado pela ciência da Biomimética, que procura aplicar seus princípios em diversas áreas do conhecimento. Nas edificações, a Biomimética, ao imitar a geometria, a composição e a funcionalidade de organismos simples e complexos da natureza, transforma o mundo em um ecossistema totalmente sustentável. Torna-se necessário estudar e imitar as soluções encontradas pela natureza para a preservação de todo o ecossistema de nosso planeta, onde a indústria imita a natureza para tornar-se sustentável como ela. Então, estamos diante deste grande desafio: o de fazer edificações incorporadas no processo de interação constante com a natureza, utilizando inovações e tecnologias transformadoras dos condicionantes inóspitos desse planeta em ambientes perfeitamente adaptados à sobrevivência de seus usuários.

Faz-se necessário construir edificações da mesma forma que a natureza as constrói, ou seja, criando espaços edificados que são verdadeiros organismos sustentáveis. São considerações relevantes, em que se busca estudar e desenvolver pesquisas científicas para geração de inovações tecnológicas que possam ser aplicadas ao ambiente construído. Neste sentido, é conveniente lembrar que a construção civil brasileira está precisando se renovar radicalmente, e de maneira sistêmica, para incorporação do novo paradigma a todos os setores responsáveis de sua cadeia produtiva e, então, vislumbrar os objetivos tão sonhados pelos consumidores: *melhor qualidade pelo menor preço e com sustentabilidade*.

Precisamos avaliar que a extensão desse comprometimento em pesquisar, estudar, desenvolver e, finalmente, elaborar as diretrizes-base para criação e desenvolvimento do sistema construtivo proposto está direcionada à nossa capacidade de gerar inovações e tecnologias em nosso país. Também é preciso tomar, como referência, as inovações tecnológicas da construção civil de outros países mais industrializados, em que se vislumbra sua industrialização respeitando o mesmo paradigma. De qualquer forma, nossa intenção é justamente alertar os nossos cientistas, pesquisadores, profissionais, universidades, governo, indústrias e cadeia produtiva sobre a importância de mudar radicalmente velhos conceitos e antever o futuro próximo num mundo em rápidas transformações, que precisa dar a resposta certa às necessidades do novo paradigma. Assim, justificamos que este trabalho irá contribuir para a inovação na construção civil, através das diretrizes-base para criação e desenvolvimento de *sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis*, necessários e compatíveis com as grandes transformações do mundo em que vivemos.

A pesquisa científica que irá respaldar nossa intenção pretende mostrar que a construção civil brasileira está passando por um período de busca de soluções inovadoras,

inteligentes e sustentáveis, revelando novas possibilidades de absorção de inovações e tecnologias para o desenvolvimento de novos materiais, produtos e serviços. Mais do que fundamentar a minimização, a caracterização e a reciclagem de resíduos sólidos da indústria em geral, no sentido de aperfeiçoar processos e desenvolver novos materiais, produtos e serviços, é preciso ter sistemas construtivos com valor agregado para não gerar resíduos sólidos, concebidos para ter longa vida útil, flexibilidade para sua reutilização, conservação e manutenibilidade, desempenho, sustentabilidade, e, após vida útil, descarte através da reciclagem de seus resíduos, como já mencionado anteriormente. São objetivos que só serão alcançados com o uso de *sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis*. Certamente, surgirão novos conceitos e ideias para que se construam edificações cada vez melhores. Nesse sentido, nos posicionamos exatamente entre aqueles que estão decididos a estudar soluções viáveis ao novo paradigma, mostrando que é possível projetar e executar edificações dignas do nosso tempo.

Sabedores de que outros profissionais e pesquisadores estão estudando constantemente soluções para melhoria do ambiente construído, o presente estudo é uma das muitas possibilidades de suscitar novos questionamentos que enriquecerão esta, entre tantas outras iniciativas que se seguirão. *O conhecimento gera conhecimento, e é isto que nos move a criar as ações que nos levam à evolução.*

5 As diretrizes-base dos sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis para edificações habitacionais no Brasil

As diretrizes-base de que precisamos são as que qualificam o sistema construtivo, aqui caracterizado como *radicalmente inovador, inteligente e sustentável*, para edificações habitacionais. Essas diretrizes terão os desempenhos da *construção industrializada limpa e enxuta*; das *inovações tecnológicas*; das *pesquisas científicas*; e do *novo paradigma das construções do futuro*, com foco no tripé da *sustentabilidade*: social, econômica e ambiental.

As diretrizes-base intensificam, multiplicam e qualificam a geração e produção de inovações tecnológicas e de pesquisas científicas com valor agregado para garantir o desenvolvimento de novos materiais, produtos e serviços em nosso país. As diretrizes-base que qualificam o sistema construtivo proposto foram selecionadas na revisão bibliográfica das disciplinas do curso de Pós-Graduação em Construção Civil UNISINOS, período 2012/2013, do qual o autor deste periódico é discente. Abaixo, seguem as diretrizes-base que propomos

com a finalidade de implementar o *sistema construtivo radicalmente inovador, inteligente e sustentável*:

- O tripé da sustentabilidade: social, econômica e ambiental.
- Construção industrializada limpa e enxuta.
- Coordenação modular do sistema construtivo.
- Construtibilidade do sistema construtivo.
- Inovações tecnológicas e pesquisas científicas.
- Biomimética, ineditismo e criatividade.

5.1 Diretriz-base: o tripé da sustentabilidade: social, econômica e ambiental

O objetivo desta diretriz-base é dar *desempenho sustentável* ao sistema construtivo para as edificações habitacionais em nosso país.

Segundo Márcio Augusto Araújo⁷,

Construção sustentável é um sistema construtivo que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender as necessidades de edificação, habitação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações atuais e futuras (ARAÚJO, 2013?, p.1).

O autor traz, ainda, o conceito de “edificação sustentável” definido pelo Comitê Técnico das Normas ISO:

Edificação sustentável é aquela que pode manter moderadamente ou melhorar a qualidade de vida e harmonizar-se com o clima, a tradição, a cultura e o ambiente na região, ao mesmo tempo em que conserva a energia e os recursos, recicla materiais e reduz as substâncias perigosas dentro da capacidade dos ecossistemas locais e globais, ao longo do ciclo de vida do edifício. (ISO/TC 59/SC3 N 459). (ARAÚJO, 2013?, p. 2, grifo do autor).

Os dois conceitos acima reforçam a essência da sustentabilidade, com uma visão sistêmica em busca de um novo paradigma para as edificações: “*o de intervir no meio ambiente, preservando-o e, na escala evolutiva, recuperando-o e assegurando harmonia no entorno*” (ARAÚJO, 2013?, p. 1, grifo nosso).

⁷ Consultor do Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (IDHEA).

No Brasil, o novo paradigma das edificações do futuro só será alcançado com o comprometimento da sociedade de incorporar a cultura do conhecimento da construção sustentável, tornando-a um saber-viver público, ou seja, um processo inerente a sua cultura.

De acordo com os principais sistemas de avaliação e certificação de obras no mundo, vamos definir a diretriz-base de *sustentabilidade* para as edificações habitacionais, seguindo seus princípios gerais, enumerados pelo autor:

- *planejamento do ciclo de vida da edificação – ela deve ser econômica, ter longa vida útil e conter apenas materiais com potencial para, ao término de sua vida útil (ao chegar o instante de sua demolição), ser reciclados ou reutilizados. Sua meta deve ser resíduo zero;*
- *aproveitamento dos recursos naturais –como sol, umidade, vento, vegetação– para promover conforto e bem-estar dos ocupantes e integrar a habitação com o entorno, além de economizar recursos finitos, como energia e água;*
- *eficiência energética - resolver ou atenuar as demandas de energia geradas pela edificação, preconizando o uso de energias renováveis e sistemas para redução no consumo de energia e climatização do ambiente (sistemas de ar condicionado, no Brasil, em prédios comerciais, respondem por cerca de 35% da demanda energética);*
- *eficiência na gestão e uso da água – economizar a água; tratá-la localmente e reciclá-la, além de aproveitar recursos como a água da chuva;*
- *eficiência na gestão dos resíduos gerados pelos usuários da edificação;*
- *prover excelentes condições termo-acústicas, de forma a melhorar a qualidade de vida física e psíquica dos indivíduos;*
- *criar um ambiente interno e externo com elevada qualidade no tocante a paisagem local e qualidade atmosférica e elétrica do ar*
- *prover saúde e bem-estar aos seus ocupantes ou moradores e preservar o meio ambiente.*
- *usar materiais que não comprometam o meio ambiente, saúde dos ocupantes e que contribuam para promover um estilo de vida sustentável e a consciência ambiental dos indivíduos.*
- *resolver localmente ou minimizar a geração de resíduos;*
- *estimular um novo modelo econômico-social, que gere empresas de produtos e serviços sustentáveis e dissemine consciência ambiental entre colaboradores, fornecedores, comunidade e clientes. (ARAÚJO, 2013?, p. 3, grifo nosso).*

A norma de desempenho ABNT NBR 15575 introduz vários critérios e parâmetros de desempenho sustentáveis para as edificações habitacionais aplicados a todas as partes do seu normativo. A diretriz-base de *sustentabilidade* incorpora todas as fases das edificações: projeto, execução e demolição. “*É a partir do local de implantação e de todas suas interações (ecológicas, sociais, econômicas, biológicas e humanas), do perfil do cliente e das necessidades do projeto, que se define uma obra sustentável*”. (ARAÚJO, 2013?, p. 4, grifo nosso).

A sustentabilidade representa o embasamento mais importante para a definição e elaboração das diretrizes-base, objeto do presente trabalho, onde todas as outras terão total

implicação para se tornarem um único referencial de desempenho, qualificando o sistema construtivo proposto.

5.2 Diretriz-base: construção industrializada limpa e enxuta.

O objetivo desta diretriz-base é dar *desempenho de racionalização* ao sistema construtivo, incorporado a um processo de produção industrializado mais exequível, através da compatibilização da construção limpa e enxuta.

No artigo intitulado “Diretrizes para a seleção e avaliação de sistemas construtivos com base nos princípios da produção ‘enxuta’ e da produção ‘limpa’”, de Emerson de Andrade Marques Ferreira⁸ e Tiago Maia Freire⁹, no qual são aplicadas diretrizes para seleção e avaliação de sistemas construtivos industrializados, observamos considerações que são essenciais para aplicação no sistema construtivo proposto.

Segundo os autores, a racionalização, no contexto da produção enxuta, a sua vida útil e o impacto ambiental através da análise de sua cadeia produtiva em relação aos princípios da produção limpa são necessários para obtenção de sistemas construtivos racionalizados. Compatibilizam-se custos de produção, racionalização e sustentabilidade. Soma-se à *construção industrializada limpa e enxuta* a prática de externalizar a produção, reservando ao canteiro de obra as atividades de montagem de *kits* pré-fabricados ou industrializados.

A integração da *produção limpa* (ciclo de vida dos materiais e sustentabilidade) e da *produção enxuta* (controle de projetos, gestão do processo de produção), compatibilizadas com a construtibilidade, a coordenação modular e a flexibilidade da construção serão igualmente indispensáveis no processo de interação da racionalização. Todos os processos são incorporados às necessidades dos usuários e referidos às quatro fases ou etapas de desenvolvimento de *sistemas construtivos*, a saber: a fase de *projeto*, a fase de *componentes*, a fase de *produção/execução*, e a fase de *produto*. Nestas, serão definidos critérios, parâmetros e recomendações compatibilizados para se conseguir um sistema construtivo mais exequível, integrado aos princípios básicos e fundamentais de todos os atores do processo.

Faz-se necessário definir critérios, parâmetros e recomendações a serem observados em todas as fases ou etapas de desenvolvimento do sistema construtivo proposto para obtenção de uma matriz eficiente de sua aplicação, objetivando o detalhamento de seu *projeto executivo completo e resolvido*.

⁸ Doutor em Engenharia Civil e Professor Titular da Escola Politécnica da UFBA.

⁹ Engenheiro Civil da Sarti Mendonça Engenharia Ltda.

A contribuição mais importante da diretriz-base *construção industrializada limpa e enxuta* é a obtenção de um processo de produção racionalizado, eficiente e sustentável, compatível com sua vida útil e com a preservação do meio ambiente. Esse fator possibilitará a redução dos custos ambientais e de produção, a otimização do uso dos recursos naturais e, conseqüentemente, a melhoria de disponibilidade de recursos financeiros das empresas para novos empreendimentos.

Noutro artigo, intitulado “A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção civil no Brasil”, de Marcellus Serejo Ribeiro¹⁰ e Camilo Michalka Jr.¹¹, os autores enfatizam que as inovações tecnológicas devem estar ao alcance de seus consumidores.

O artigo discorre sobre a contribuição da industrialização para a racionalização, qualidade e economia do ambiente construído. Os autores comprovam que as inovações tecnológicas a serem criadas para o sistema construtivo proposto devem estar ao alcance de seus consumidores, possibilitando as experimentações orientadas a quem vai utilizá-las. É imprescindível uma ação conjunta no sentido de inserir novas tecnologias dentro da realidade brasileira, para que não corram o risco de se limitarem a ações isoladas, em sistemas construtivos fechados, os quais não oferecem possibilidade de flexibilização para modificação, ampliação, restauro, manutenção e personalização.

É fundamental que o sistema construtivo proposto possa popularizar a prática da sua “nova tecnologia”, inserindo um sistema de correlação dimensional por meio da ferramenta da Coordenação Modular. Esse sistema permitirá o uso de componentes de diversas origens sem cortes ou ajustes, barateando as construções habitacionais e, principalmente, proporcionando a inserção, no mercado, de sistemas construtivos acessíveis à população brasileira.

No “Relatório de avaliação dos esforços para implantação da Coordenação Modular no Brasil”¹², no qual Reginaldo Braga Arcuri, Presidente da ABDI, dá sua contribuição, constata-se sua intenção de disseminar a aplicação da Coordenação Modular e publicação para os agentes do setor da construção civil. O relatório da ABDI fornecerá subsídios para suas práticas e técnicas a serem adotadas, sendo esta sua principal missão, como estratégia de competição para industrialização da construção civil nacional (ARCURI, 2013?). A *construção industrializada limpa e enxuta* proporcionará um processo de produção mais

¹⁰ Doutorando em Arquitetura da UFRJ, professor do CEFET Campos – RJ e do Curso de Arquitetura e Urbanismo das Faculdades Integradas Geraldo Di Biase FGB-FERP.

¹¹ Professor Doutor Ing. da Escola de Engenharia e do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFRJ.

¹² Publicado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI.

eficiente, a criação de sistemas construtivos abertos acessíveis à população e o desenvolvimento de novos materiais, produtos e serviços.

5.3 Diretriz-base: Coordenação Modular de sistemas construtivos.

O objetivo desta diretriz-base é dar *desempenho de Coordenação Modular* ao sistema construtivo, através da aplicação da ferramenta de Coordenação Modular, com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento de sistemas construtivos abertos.

Segundo Marcos Otávio Bezerra Prates, coordenador do Fórum de Competitividade do Setor de Construção Civil e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC, a divulgação do “Relatório de avaliação dos esforços para implantação da Coordenação Modular no Brasil”, publicado pela ABDI, tem apresentado resultados concretos desde a publicação da nova Norma de Coordenação Modular (ABNT-NRB-15873/2010). Prates destaca que a norma técnica, já em vigor, deve ser implementada em toda a cadeia produtiva para que promova a interoperabilidade técnica, que permitirá o desenvolvimento de sistemas construtivos abertos de melhor qualidade e desempenho.

O princípio básico da Coordenação Modular, extraído desse relatório, permite compreender a fundamentação para sua prática e disseminação. É definido que “o espaço ocupado por *um elemento ou componente construtivo deve ter suas medidas múltiplas de 100mm nas três dimensões*”. (RELATÓRIO..., 2013? p.16, grifo do autor).

O objetivo da Coordenação Modular é possibilitar “a compatibilidade dimensional entre elementos construtivos (definidos nos projetos das edificações) e componentes construtivos (definidos nos projetos de produtos dos respectivos fabricantes), para além de arranjos produtivos particulares ou de alcance restrito”. (RELATÓRIO..., 2013?, p.16, grifo do autor).

Dessa forma, de acordo com o Relatório... (2013?), a Coordenação Modular possibilita:

- 1) Redução da variabilidade de medidas utilizadas na fabricação dos componentes;
- 2) simplificação da coordenação dimensional nos projetos das edificações, que, atualmente, são definidos caso a caso;
- 3) simplificação da metodologia de marcação do canteiro de obras para posicionamento e montagem de componentes construtivos;
- 4) redução de cortes e ajustes de componentes e elementos construtivos;

- 5) aumento da intercambiabilidade dos componentes, na construção inicial, em reformas e em melhorias ao longo da vida útil da edificação;
- 6) aumento do mercado de exportação de componentes e
- 7) ampliação da cooperação entre os diversos agentes da cadeia produtiva da construção.

Ainda segundo o Relatório..., na Coordenação Modular, define-se que o espaço ocupado por qualquer elemento ou componente é denominado de “*espaço de coordenação*”, nele é incluído o elemento ou componente propriamente dito e, também as folgas dimensionais requeridas em razão de suas deformações (mecânicas, térmicas ou por umidade), suas tolerâncias (de fabricação, marcação, e montagem), seu processo de instalação e seus materiais de união com componentes ou elementos vizinhos. As folgas perimetrais são denominadas de “*ajustes de coordenação*”. Todas as medidas do espaço de coordenação, que forem múltiplas do módulo básico de 100mm (M), são denominadas “*medidas modulares*”. Todas as medidas previstas dos elementos ou componentes propriamente ditas são denominadas “*medidas nominais*”. Ainda, compatibilizado ao seu princípio fundamental, existe a possibilidade de reduzir a variedade de medidas praticadas por fabricantes e projetistas, mediante o uso de séries de multimódulos, como por exemplo, as séries $n \times 2M$, $n \times 3M$ ou séries de incremento variado. Não se considera que as definições dessas séries devam ser feitas previamente ou para todos os diferentes setores da construção civil em conjunto. A Coordenação Modular, ao ser implementada, equalizará a demanda de mercado, por si só, como um fator de seleção dimensional. Possibilitará, ao longo do tempo, que diferentes setores se organizem para o estabelecimento de séries concernentes, especificamente, a determinados produtos ou segmentos. (RELATÓRIO..., 2013?).

A Coordenação Modular desenvolverá a industrialização de sistemas construtivos abertos compatíveis com a realidade brasileira, que precisa produzir “novas tecnologias” compatibilizando desempenhos definidos em normas para serem mais eficientes, com o objetivo de garantir melhor qualidade das edificações habitacionais em nosso país.

5.4 Diretriz-base: construtibilidade do sistema construtivo

O objetivo desta diretriz-base é dar *desempenho de construtibilidade* ao sistema construtivo, o que pode ser traduzido pela expressão “*facilidade de construir e ou de desconstruir*”, interagindo no processo de industrialização dos sistemas construtivos abertos.

Conforme ZUCCHETTI (2010), são várias as fundamentações que comprovam a contribuição da diretriz-base *construtibilidade do sistema construtivo*. Com base nessa autora

(ZUCCHETTI, 2010), no presente trabalho, definiremos *construtibilidade* como *a capacidade que o projeto possui de facilitar a construção e, após vida útil, facilitar sua desconstrução, através da racionalização dos elementos de projeto, com foco na melhoria da produtividade na construção e/ou desconstrução*, ou seja, generalizando, *total eficiência e produtividade do projeto*. Assim, da mesma forma que um sistema construtivo é projetado para sua fácil construção e montagem, também esse mesmo sistema construtivo deve ser projetado para sua fácil desconstrução e desmontagem.

A diretriz-base *construtibilidade* tem como objetivo a reutilização futura ou reciclagem de materiais e sistemas, ao longo das diferentes fases do processo de construção, considerando todo o ciclo de vida da edificação. Essa é a visão sustentável que a *construtibilidade* deve assumir para gerir com responsabilidade os recursos naturais renováveis e não renováveis na industrialização do sistema construtivo proposto.

As etapas do ciclo de vida dos projetos, referidos como um todo, devem incluir o *planejamento conceitual e de execução da edificação, o projeto, a contratação, a construção, o uso, a manutenção e a desconstrução*, objetivando um processo de construção global mais rápido, plenamente compatibilizado com a sua gestão e custos. Essa prática de processo de construção global tem a função de permitir que revisões de construtibilidade possam ser realizadas através da entrada de dados advindos da construção. E estes em todas as fases do ciclo de vida dos projetos, gerando informações importantes a serem armazenadas e disponibilizadas para futuras consultas, fornecendo subsídios para a melhoria e aumento da construtibilidade dos projetos.

Considerando a inter-relação necessária entre as etapas de projeto e a execução para uma adequada análise e aplicação da construtibilidade, e sendo esta considerada um sistema integrado em todo o ciclo de vida da edificação, diversos benefícios poderão ser promovidos. Estes ocorrerão somente quando houver uma melhor compreensão do conceito de construtibilidade, nas diferentes fases do processo de construção e, também, nas interfaces entre essas fases.

Assim, entende-se que a *construtibilidade* deve permitir a retroalimentação de informações provenientes de todas as fases de sua aplicação, onde os projetistas assumem um papel fundamental para a sua constante melhoria e para desenvolvimento sistêmico de seu conceito. Faz-se necessária a integração dos agentes envolvidos, projetistas e coordenador de projetos, já na primeira etapa do processo de projeto, sendo o coordenador o agente mais indicado para gerenciar a aplicação dos conhecimentos técnicos e de experiência da execução

durante o projeto como um todo. Define-se, então, que a função dos projetistas é promover a racionalização das soluções técnicas, do custo decorrente da aplicação dessas soluções e dos custos de operação, manutenção, descarte e reciclagem, após vida útil.

A *construtibilidade* assume sua maior importância no desenvolvimento do *projeto executivo completo e resolvido* do sistema construtivo proposto, momento em que o projeto é a etapa de maior relevância no impacto do ciclo de vida dos empreendimentos, representando a quase totalidade da capacidade de impacto no custo final da sua construção. Deve-se trabalhar na integração total do projeto, no sentido de alinhar todas as tecnologias construtivas, soluções técnicas, soluções executivas e informações executivas retroalimentadas de obras para compatibilizá-las com a construtibilidade do sistema construtivo proposto. O objetivo é o ajuste perfeito ao seu *projeto executivo completo e resolvido*, garantindo uma solução exequível para a realidade brasileira.

A *construtibilidade* é, sem dúvida, a melhor forma de aperfeiçoar projeto, execução e pós-execução, integrando os agentes intervenientes de todo o processo no desenvolvimento de *sistemas construtivos abertos e industrializados*.

5.5 Diretriz-base: inovação tecnológica e pesquisa científica

O objetivo desta diretriz-base é dar *desempenho de inovação tecnológica* e de *pesquisa científica* ao sistema construtivo, significando vocação e potencial para geração de conhecimento em inovação tecnológica e em pesquisa científica aplicadas ao desenvolvimento de *sistemas construtivos industrializados*.

As possibilidades dessa diretriz-base são traduzidas pelos efeitos aplicados que as *pesquisas científicas* e as *inovações tecnológicas* introduzidas trazem para o desenvolvimento de *sistemas construtivos abertos*. Compartilhamos as conclusões do artigo “Inovação tecnológica e desenvolvimento Econômico”, de Ivan Moura Campos e Eduardo de Campos Valadares (2013?). Os autores concluem que a identificação de gargalos e desafios tecnológicos associados às tecnologias-chave de que precisamos deve estar orientada com o objetivo de impulsionar a indução de *inovações tecnológicas* e de *pesquisas científicas*. Com este objetivo, o sistema de inovação tecnológica deverá congrega empresas, universidades, institutos de pesquisas e governo. Os autores (CAMPOS; VALADARES, 2013?) destacam, ainda, a importância do governo na indução de mudanças por meio do sistema de inovação tecnológica por ele coordenado, priorizando os desafios tecnológicos e gargalos associados às

tecnologias-chave de que precisamos. Salientam, também, que existem recursos humanos de qualidade nas universidades e institutos de pesquisa brasileiros, produzindo *inovação tecnológica* não demandada pelo seu parque produtivo. São recursos humanos que tratam de temas de ponta estratégicos, condição necessária para publicação em periódicos de qualidade.

No artigo intitulado “Perspectivas e desafios para inovar na construção civil”, de Dulce Correa Monteiro Filha, Ana Cristina Rodrigues da Costa e Érico Rial Pinto da Rocha (2010), os autores afirmam que os interesses comuns entre as empresas, universidades, institutos de pesquisas, governo e ações que já se encontram em desenvolvimento devem ter claros os objetivos necessários para modernizar a construção civil no Brasil. Essa é uma condição fundamental para que se possam desenvolver atividades inovadoras, que busquem a racionalização, a padronização e o aumento de escala de produção com sustentabilidade. De acordo com os autores (MONTEIRO FILHA; COSTA; ROCHA, 2010), faz-se necessário um processo de construção industrializada em larga escala, que possibilite a aceleração do processo de construção, compatibilizado com a implementação de planejamento urbano, ambiental, cultural, econômico e social.

Os autores salientam, no entanto, que há dificuldades intrínsecas à cadeia produtiva para se inovar, a saber: a normalização técnica no Brasil está defasada e deverá ser modernizada; a existência de diferenças significativas entre os códigos de obras municipais dificultam a introdução de inovações de padronização, como também as de industrialização de processo construtivo; a existência de grande obstáculo no estabelecimento de critérios necessários para homologação, avaliação ou aprovação de produtos ou processos construtivos inovadores, o mesmo ocorrendo para a certificação ambiental.

As inovações tecnológicas e pesquisas científicas introduzirão o desenvolvimento de sistemas construtivos inovadores de alto desempenho, compatibilizados a oferecer um produto em escala de produção adequada. Essas inovações e pesquisas fornecerão tecnologias de ponta, materiais, produtos e serviços para valorização da qualidade das edificações habitacionais.

5.6 Diretriz-base: biomimética, ineditismo e criatividade

O objetivo desta diretriz-base é dar *desempenho de biomimetismo, ineditismo e criatividade* ao sistema construtivo, através da replicação dos princípios básicos de geometria, composição e funcionalidade dos organismos biológicos da natureza.

A contribuição das pesquisas científicas e inovações tecnológicas, que tiveram seu manancial de desenvolvimento a partir de estudos científicos de observação da estrutura dos seres vivos da natureza, compatibilizados com seu ciclo de vida e ecossistemas, trouxeram desenvolvimento de novos materiais, produtos e serviços para melhoria do ambiente construído, por meio da ciência da Biomimética. No artigo “A Biomimética como método criativo para o projeto de produto”, de Flora Bittencourt Detanico, Fabio Gonçalves Teixeira e Tania Luisa Koltermann da Silva (2010), destacamos o conceito de Biomimética traduzido por Janine Benyus, o qual nos revela que a *Biomimética é uma ciência que procura aprender com a natureza*. Através de estudos científicos de investigação, a Biomimética procura desvendar os seus princípios básicos de geometria, composição, e funcionalidade, incorporados ao conceito de replicação do comportamento dos organismos biológicos.

O conceito de Biomimética, inteligente e bastante inovador, está nos dizendo que temos muito que aprender com a natureza, visto que, “depois de 3,8 bilhões de anos de pesquisa e desenvolvimento, as falhas são fósseis, e aquilo que nos rodeia é o segredo para a sobrevivência”. (DETANICO; TEIXEIRA; SILVA, 2010, p. 106). A engenhosidade de sabedoria presente na natureza merece nossa especial atenção, de modo a compatibilizá-la com o presente trabalho.

Ainda no artigo supramencionado, chamam a atenção as palavras do pintor, poeta, inventor e naturalista Leonardo da Vinci, reproduzidas pelos autores, através das quais da Vinci faz a seguinte afirmação: “*A genialidade do homem faz várias invenções, abrangendo com vários instrumentos o único e mesmo fim, mas nunca descobrirá uma invenção mais bela, mais econômica ou mais direta que a da natureza, pois nela nada falta e nada é supérfluo*”. (DETANICO; TEIXEIRA; SILVA, 2010, p. 106, grifo dos autores).

Analogamente, e à luz da observação sob a ótica da Biomimética, pretende-se dar, ao sistema construtivo proposto, desempenho incorporado a esses princípios. Compatibilizam-se a geometria, a composição e a funcionalidade do sistema construtivo com as soluções naturais de projeto e execução encontradas nos organismos biológicos, decodificando-as na busca pelo melhor aproveitamento e pelo menor gasto de energia, possibilitando o desempenho das soluções que melhor qualificam o sistema construtivo proposto. A replicação de seus princípios equacionarão soluções inteligentes para o *projeto executivo completo e resolvido* do sistema construtivo proposto. São necessárias a simplificação, a otimização e a homogeneização de sua geometria, composição e funcionalidade, para torná-lo mais exequível. Esse processo traz soluções inteligentes, como a simplificação da envoltória externa de seu cobrimento, a ser composta por um único componente construtivo a ser

fabricado, incorporando modulação, estrutura, multifuncionalidade, flexibilidade, conectividade, intercambialidade e simplificação do número de componentes.

Interagindo com o meio ambiente externo e com o interno, serão incorporados subcomponentes que lhes sejam intimamente associados, como aberturas de ventilação e iluminação natural, equipamentos de energia solar e de ar condicionado, coleta de águas pluviais, brises, aberturas de acesso aos usuários, entre outros. Esses subcomponentes terão suas interfaces com intercambialidade e conectividade estanque, padronizada para sua perfeita associação, substituição e manutenção, eliminando as possibilidades de patologias e os custos de manutenção. Como consequência, haverá a obtenção da otimização necessária para sua maior vida útil. A simplificação e a racionalização da envoltória do sistema construtivo proposto para um único componente construtivo simplificarão sua estrutura de sustentação à sua geometria como um todo, tornando-a mais eficiente.

A simplificação associada à racionalização poderá ou não ser replicada a vários componentes que lhe sejam intimamente associados para comporem, conjuntamente, um único componente construtivo multifuncional. Assim, torna-se necessário compatibilizar a simplificação, a racionalização, a flexibilidade, a multifuncionalidade, a conectividade, a intercambialidade e as interfaces aos sistemas, subsistemas, elementos, componentes e subcomponentes construtivos, que possam estar intimamente associados, ao menor número possível de componentes pré-fabricados. A replicação desse processo a todas as partes constituintes do sistema construtivo proposto permitirá equacionar muitas variáveis de sua composição, geometria e funcionalidade, conferindo-lhe a eficiência de desempenho desejada, igualmente encontrada nos organismos biológicos da natureza. No entanto, caberá aos arquitetos e engenheiros perceber, apreender e recriar esses princípios na inovação tecnológica que melhor qualifique o sistema construtivo que estão propondo. Acrescentarão a esses princípios, tão somente, a *grandeza da sua criatividade e ineditismo*, revelando, em sua inovação, *a simplicidade, a sabedoria e a generosidade da natureza*.

6 Conclusão

As diretrizes-base, objeto do presente trabalho, têm a finalidade de definir e elaborar vários parâmetros e critérios de desempenho, sob a forma de *função de desempenho desejado*, para o sistema construtivo proposto. Essas diretrizes possibilitarão funções de desempenho desejado essenciais para lhe conferir a qualidade intrínseca e inequívoca de *sistemas construtivos radicalmente inovadores, inteligentes e sustentáveis* para edificações

habitacionais no Brasil. Pretendeu-se, no presente trabalho, atender às necessidades dos usuários e ao novo paradigma das edificações do futuro, considerando-se todo o seu ciclo de vida, como também critérios regionais, climáticos, sociais, econômicos e ambientais.

A metodologia aqui utilizada priorizou a pesquisa aplicada às funções de desempenho desejado em um processo de produção totalmente industrializado, frente aos desafios e oportunidades da realidade atual da construção civil brasileira. Os resultados encontrados foram selecionados pela sua perfeita aderência ao desempenho do sistema construtivo proposto e constituem as diretrizes-base para o seu desenvolvimento, criação, industrialização e comercialização.

O principal resultado alcançado foi possibilitar o desempenho desejado de seu *projeto executivo completo e resolvido* para um processo de produção mais exequível, totalmente industrializado, em escala adequada à demanda e, principalmente, acessível à realidade brasileira. Compatibilizaram-se todos os seus sistemas, subsistemas, elementos, componentes, subcomponentes e interfaces para que pudessem atender aos requisitos de intercambialidade, conectividade, padronização, modulação, simplificação, multifuncionalidade e flexibilidade. Objetivou-se, também, definir funções de desempenho desejado para obtenção da melhoria da qualidade das edificações habitacionais, em conformidade com as normas técnicas da ABNT.

As diretrizes-base irão conferir, ao sistema construtivo proposto, maior vida útil, conservação e manutenibilidade, flexibilização para sua reutilização, desempenho, sustentabilidade e, após vida útil, descarte através da reciclagem de seus resíduos.

Inicialmente, adotou-se, como diretriz-base, a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575 como “*padrão de referência de desempenho*” para o sistema construtivo proposto. Compatibilizou-se o seu novo conceito de desempenho, “*comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas, em função das condições de exposição*”, às demais diretrizes-base.

Os desempenhos alcançados demonstraram a total eficiência de sua aplicação; revelaram grandes possibilidades para sua industrialização, geração de inovações tecnológicas, desenvolvimento de pesquisas científicas, de novos materiais, produtos e serviços. São razões convincentes para a sua perfeita implantação especialmente no atual cenário econômico, ambiental, cultural e social de nosso país, motivo pelo qual foi priorizada a valorização da qualidade das edificações habitacionais e das políticas públicas de urbanização regenerativa das cidades brasileiras.

As diretrizes-base aqui elencadas proporcionarão excelentes perspectivas de mercado aos profissionais, pesquisadores e empresas, como estratégia de competitividade. No entanto, faz-se necessária, a identificação de gargalos e desafios tecnológicos associados às tecnologias-chave de que precisamos. Estes deverão estar orientados para impulsionar a indução de inovações tecnológicas e de pesquisas científicas, congregando as empresas, universidades, institutos de pesquisas e governo. As diretrizes-base auxiliarão os engenheiros civis, arquitetos, projetistas, construtores e profissionais intervenientes, nos processos de projeto e execução de obras habitacionais e *na tomada de decisão para avaliação dos desempenhos desejados para seus empreendimentos imobiliários.*

Os cursos de graduação de Engenharia Civil e de Arquitetura e Urbanismo deveriam se renovar para oferecer uma nova matriz curricular que possibilitasse formar profissionais capacitados para o desenvolvimento de produtos inovadores, inteligentes e sustentáveis no nosso país, isto é, formar para inovar na criação e no desenvolvimento de processos de projeto e execução, e não para reprodução de tecnologias importadas e ou antigas. A renovação dos cursos de graduação possibilitaria abrir novo espaço para cursos de Pós-graduação e de Extensão em tecnologia e modelagem de sistemas construtivos com funções complexas, gerando conhecimento de ponta para as edificações do futuro, ou seja, formando profissionais para inovar com empreendedorismo, aplicando o conceito de desempenho definido em normas.

Sugerimos, para novos trabalhos: *soluções técnicas de conectividade e intercambialidade das interfaces compatibilizadas* para eficiente montagem e desmontagem do sistema construtivo proposto, objetivando o reaproveitamento de todas as suas partes constituintes em uma nova edição de sua construção, em outro local, sem perda de suas propriedades; *soluções técnicas para o desenvolvimento de novos materiais estruturais e multifuncionais de grande durabilidade e resistência*, para perfis estruturais do sistema construtivo proposto, objetivando, também, o reaproveitamento de todas as suas partes constituintes em uma nova edição de sua construção, em outro local, sem perda de suas propriedades; *soluções técnicas de design de peças estruturais inteligentes, com articulação e mobilidade*, para permitir a flexibilidade de movimentos articulados de componentes, subcomponentes e elementos construtivos associados às funções de iluminação e ventilação naturais, insolação e radiação solar e visibilidade da paisagem do entorno, entre outras, compondo a simplificação da envoltória das fachadas.

São sugestões estratégicas que irão conferir versatilidade técnica de projeto e execução, traduzidas pela arquitetura inovadora, inteligente e sustentável que caracteriza o

sistema construtivo proposto. Concluindo, desejamos ter contribuído para que outros profissionais possam atender aos desafios que estão a nossa volta e criar as soluções a cada situação nova, dando prosseguimento à razão de ser do presente trabalho, no qual a natureza é a nossa única e preciosa fonte de pesquisa, origem, meio e fim. Entretanto, há de se ter a responsabilidade de se preservar tudo aquilo que nos rodeia, pois, retomando Detanico, Teixeira e Silva (2010, p. 106, grifo nosso), *“depois de 3,8 bilhões de anos de pesquisa e desenvolvimento, as falhas são fósseis, e aquilo que nos rodeia é o segredo para a sobrevivência”*.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção sustentável**. [S.l., 2013?]. Disponível em <<http://www.idhea.com.br/pdf/moderna.pdf>> Acesso em 31 mai. 2013.

ARCURI, Reginaldo Braga. Apresentação. In.: BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. **Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil**. 2013?, p. 9. Disponível em <http://www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Brasi_21.pdf>. Acesso em 01 jul. 2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. **Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil**. 2013?. Disponível em <http://www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Brasi_21.pdf>. Acesso em 01 jul. 2013.

CÂMARA Brasileira da Indústria da Construção. Desempenho de edificações habitacionais: **Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. Disponível em <http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho.pdf>. Acesso em 22 mai. 2013

CAMPOS, Ivan Moura; VALADARES, Eduardo de Campos. **Inovação Tecnológica e Desenvolvimento Econômico**. [S.l., 2013?]. Disponível em <<http://www.schwartzman.org.br/simon/blog/inovacaomg.pdf>>. Acesso em 06 jul. 2013.

DETANICO, Flora Bittencourt; TEIXEIRA, Fabio Gonçalves; SILVA, Tania Luisa Koltermann da. **A Biomimética como Método Criativo para o Projeto de Produto**. Design & Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2010, p. 101-113. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/67708/000764828.pdf?sequence=1>>. Acesso em 8 jul. 2013.

FERREIRA, Emerson de Andrade Marques; FREIRE, Tiago Maia. **Diretrizes para a seleção e avaliação de sistemas construtivos com base nos princípios da produção “enxuta” e da produção “limpa”**. [S.l., 2013?]. Disponível em <<http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/Sele%C3%A7%C3%A3o%20Sist%20Construtivo.pdf>>. Acesso em 17 abr. 2013.

LIMA, Maurício. **Professor da Poli-USP afirma que construção civil brasileira usa tecnologia de cem anos atrás**. Tecnologia e Materiais, PiniWeb. [S.l.]. 05 ago. 2011. Disponível em <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/professor-da-poli-usp-afirma-que-construcao-civil-brasileira-nao-inova-226421-1.aspx>>. Acesso em 10 abr. 2013.

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. Perspectivas e desafios para inovar na construção civil. In.: **BNDES Setorial 31: Construção Civil**. [S.l., 2010, p. 353-410]. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3110.pdf>. Acesso em 06 jul. 2013.

OJIMA, Ricardo. **Novos contornos do crescimento urbano brasileiro?** O conceito de Urban Sprawl e os desafios para o Planejamento Regional e Ambiental. *GEOgraphia - Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 19, p. 46-59, 2008. Disponível em <<http://www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/article/view/234>>. Acesso em 27 mai. 2013.

PRATES, Marcos Otávio Bezerra. A importância da coordenação modular no contexto da Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP. In.: BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. **Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil**. 2013?, p. 10. Disponível em <http://www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Brasi_21.pdf>. Acesso em 01 jul. 2013.

RIBEIRO, Marcellus Serejo; MICHALKA JR., Camilo. **A Contribuição dos Processos Industriais de Construção para Adoção de Novas Tecnologias na Construção Civil no Brasil**. *Vértices – Revista do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense*, Rio de Janeiro, ano 5, n. 3, p. 89-107, 2003. Disponível em <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/1809-2667.20030021/111>>. Acesso em 19 abr. 2013.

ZUCCHETTI, Lais. **A construtibilidade como requisito de avaliação de componentes para a edificação: o caso do elemento de integração alvenaria/esquadria**. 2010. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2010.