

## Sistema modular metálico para edifícios de agricultura urbana

Lucas Leite Costa<sup>1\*</sup>, Cláudia Maria Arcipreste<sup>2</sup> Tito Flávio Rodrigues de Aguiar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG, [lucasleite80@gmail.com](mailto:lucasleite80@gmail.com)

<sup>2</sup> Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG, [claudiaarcipreste@ufop.edu.br](mailto:claudiaarcipreste@ufop.edu.br)

<sup>3</sup> Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG, [tito.aguiar@ufop.edu.br](mailto:tito.aguiar@ufop.edu.br)

### Metal modular system for urban agriculture buildings

#### Resumo

A partir de metodologia que se apoia na elaboração de projeto arquitetônico, desenvolve-se uma reflexão sobre demandas de racionalização de processos construtivos industrializados, com a utilização de componentes metálicos, para proposição de edificação voltada para a produção de alimentos em grandes centros urbanos. Diante da complexa cadeia de produção e distribuição dos alimentos, necessária para abastecimento das cidades populosas, faz-se necessário pensar em meios de produção e distribuição mais eficientes, que reduzam impactos ambientais. O presente trabalho busca estudar o potencial de edifícios modulares em construção metálica, voltados para agricultura urbana, explorando estratégias de flexibilidade e adaptabilidade dos espaços a contextos diversos de implantação, possibilitando a redução de etapas na cadeia de produção e distribuição dos alimentos.

**Palavras-chave:** projeto arquitetônico, construção metálica, agricultura urbana

#### Abstract

Based on a methodology that is based on the elaboration of an architectural project, a reflection is developed on the rationalization demands of the industrialized construction processes, based on the use of metallic components for the construction of a building for food production in large urban centers. Faced with the complex food production and distribution chain that is needed to supply the populous cities, it is necessary to think of more efficient means of production and distribution that reduce environmental impacts. This work seeks to study the potential of modular buildings in metal construction, focused on urban agriculture, exploring strategies of flexibility and adaptability of spaces in different deployment contexts, to reduce stages in the food production and distribution chain.

**Keywords:** architectural project, metal building, urban agriculture.

\* autor correspondente

## **1 Introdução**

Este trabalho busca discutir o potencial da construção metálica como resposta às demandas apresentadas por programas arquitetônicos inovadores, que, sobretudo nos grandes centros urbanos, possam oferecer ganhos aos indivíduos e sociedades do século XXI. Tomando-se o projeto de arquitetura como meio de pesquisa, desenvolve-se uma reflexão sobre a aplicação da construção metálica para o projeto das chamadas *fazendas verticais* - edifícios de andares múltiplos voltados para agricultura urbana. Busca-se, assim, discutir o potencial arquitetônico da construção metálica para se atender aos requisitos programáticos de edifícios de múltiplos pavimentos que, abrigando *fazendas verticais* urbanas, possam contribuir para mais eficiência na cadeia de produção e distribuição dos alimentos.

O estudo pretende, também, subsidiar processos de concepção arquitetônica que explorem estratégias projetuais de modularidade, flexibilidade e adaptabilidade dos espaços, que modo a possibilitar o ajuste dos edifícios a contextos diversos de implantação em grandes cidades.

## **2 A utilização de componentes industrializados metálicos para um edifício de agricultura urbana**

A conveniência da utilização de estruturas metálicas para edifícios de andares múltiplos tem sido abordada por vários autores como Ching, Onouy e Zuberbuhler (2014); Bellei, Pinho e Pinho, (2008); Teixeira (2007) e Bauermann (2002), entre outros. São recorrentemente destacadas suas vantagens quanto à redução do peso final da edificação, aos prazos de execução, à possibilidade de maior controle de qualidade da produção e a outros aspectos que implicam diretamente o custo final dos empreendimentos.

Contudo, nas últimas décadas o uso do aço tem se mostrando pequeno, diante de seu potencial para a construção civil no país. Especificamente quanto às estruturas, constata-se baixo volume de produção em aço, muito inferior ao das estruturas em concreto armado. De acordo com Araújo (2017), cerca de 80% das estruturas de edifícios de múltiplos pavimentos no Brasil são moldadas no canteiro de obras em

concreto armado. O alto custo inicial dos componentes metálicos, elevado por tributações sobre o produto industrializado, somado à baixa capacitação da mão de obra que opera seus processos são motivações para manutenção deste quadro. (Araújo, 2017).

No entanto, além do custo direto e da capacitação da mão de obra, outros fatores devem ser considerados no processo de decisão acerca dos sistemas construtivos mais adequados a demandas específicas. De acordo com Araújo (2017) é preciso uma discussão mais aprofundada sobre as condições de trabalho e sobre a produtividade dos processos de fabricação e montagem de sistemas estruturas e sistemas correlatos, considerando-se os tempos envolvidos numa perspectiva mais global, com vistas à reorientação de parâmetros na construção civil, em termos qualitativos e quantitativos de seus processos e resultados.

Comparando duas obras de edifícios com características similares, Araújo (2017) verifica aspectos da produção de um edifício com estrutura em concreto armado moldado na obra e de um edifício com estrutura mista, composta por pilares e vigas metálicas, com núcleo rígido em concreto armado e lajes mistas, com forma incorporada. Esse estudo mostra que a execução da estrutura em concreto armado demanda tempo 3,5 vezes maior que o requerido pela estrutura mista.

Enquanto todo o tempo empregado na construção da estrutura em concreto armado transcorre no canteiro de obra, no caso da estrutura mista, quase metade do tempo é gasto na fabricação dos perfis metálicos, em ambiente *off-site*. Relacionando o ambiente de produção e as condições de trabalho, Araújo (2017) evidencia melhores condições de trabalho e maior controle de qualidade na obra com estrutura mista, considerando não somente o processo de fabricação dos perfis metálicos, mas também sua montagem.

Sob outro aspecto, construções com estrutura em concreto armado demandam elevado consumo de insumos e implicam significativa geração de resíduos de construção e demolição - RDC. (Pinto, 1999; Gervásio, 2008). Resíduos que, por sua vez, compõem grande parte do lixo gerado nas grandes cidades brasileiras. Em Salvador, por exemplo, representam quase 60% do total de lixo gerado, em Porto

Alegre e Goiânia representam 55% e em Belo Horizonte aproximadamente 45%. (Salsa, 2009).

O aprofundamento dos debates acerca dessas questões é urgente, bem como o desenvolvimento e a difusão de tecnologias construtivas que possam conduzir a processos mais racionais e eficazes. Identifica-se, assim, o potencial do aço como sistema estrutural para edifícios de múltiplos andares, sobretudo em áreas urbanas mais adensadas, que concentram ações de parcela significativa do setor da construção civil.

Em especial, ressalta-se a pertinência de sua utilização no atendimento a programas de necessidades que possam trazer ganhos significativos para as sociedades contemporâneas e futuras, como no caso dos edifícios voltados especificamente para a agricultura urbana, atividade cuja inserção no ambiente das grandes cidades é tão inovadora quanto desafiadora.

Também na cadeia de produção, distribuição e venda dos alimentos identifica-se muita complexidade e grande ineficiência. Processos comumente adotados geram desperdício e elevado consumo energético, entre outras questões que agravam problemas socioambientais. (Machado e Machado, 2002; Aquino e Assis, 2007). Considerando esses problemas, a agricultura urbana pode exercer relevante papel nas cidades populosas, favorecendo novos meios de produção que possibilitem e induzam mudanças no funcionamento das cidades e no comportamento das pessoas. (Machado e Machado, 2002).

Para tanto, visando a obter uma produção diversificada e equilibrada, Aquino e Assis (2007) indicam que a agricultura urbana deve prever cultivos intensivos, considerando a interação homem-cultivo-animal-meio ambiente e o aproveitamento de facilidades e recursos propiciados pelo ambiente urbano, tais como disponibilidade de mão de obra e proximidade com os consumidores.

Para a agricultura urbana em grandes cidades, considera-se, aqui, o conceito de *fazendas verticais* desenvolvido pelo microbiologista norte-americano Dickson Despommier, entre 1999 e 2009. Trata-se de edifícios de andares múltiplos que, inseridos em regiões centrais de cidades de médio e grande porte, buscam reduzir

impactos e desperdícios provocados pelas formas correntes de produção e distribuição de alimentos. (Despommier, 2010).

O avanço tecnológico vem possibilitando o desenvolvimento de vários tipos de cultura *indoor* (em ambientes fechados), com ganhos significativos de qualidade ambiental e de produtividade, possibilitando a produção de alimentos dentro das cidades (Despommier, 2018). Essas formas de cultivo têm potencial para melhor atender à crescente demanda de consumo de alimentos nos grandes centros urbanos, promovendo redução de intermediários entre o produtor e o consumidor, com significativa redução de custos e potencial para gerar impactos positivos nos processos hegemônicos vigentes de produção e distribuição dos alimentos. (AQUINO, ASSIS, 2007; Machado, Machado, 2002).

A partir desse conceito, tomam-se como referências alguns projetos de fazendas verticais desenvolvidos por arquitetos. Nestas propostas (Figura 2), pode-se discernir a utilização de componentes metálicos industrializados nas estruturas das edificações, além da adoção de sistemas alternativos para captação de energia e de técnicas de cultivo *indoor* de baixo consumo de água e outros insumos. Esses equipamentos e tecnologias vêm sendo pensados para fomentar processos mais sustentáveis e mais adequados às demandas socioambientais contemporâneas (Despommier, 2018).



Figura 2 - Projetos de fazendas verticais - Chris Jacobs, Gordon Graff, SOA Architectes  
(Fonte: CHO, 2011)

Destaca-se o projeto da Fazenda de Agricultura Urbana de Newark, em Nova Jersey/EUA, experimento conjunto realizado por Dickson Despommier e o escritório de

arquitetura Weber Thompson. Encomendado pela prefeitura local para revitalizar o centro da cidade, o edifício contém espaços de cultivo e laboratórios de pesquisa, separados por um átrio central para iluminação e ventilação naturais. No andar térreo, tem-se um espaço para interação com o público. Os pavimentos superiores abrigam sistemas intensivos de cultivo sem terra. O edifício foi concebido para ser flexível e adaptável a diferentes usos que possam surgir com a evolução da tecnologia (Figura 3).



Figura 3 - Perspectiva externa, Projeto da Fazenda Vertical de Newark. NJ/EUA,  
(Fonte: Weber Thompson Architects, 2010)

Para além das vantagens de simplificação da cadeia alimentar, com ganhos em termos de sustentabilidade ambiental e social, evidencia-se que as fazendas verticais poderiam também ser consideradas como elementos de Acupuntura Urbana, como propõe Lerner (2003). As cidades necessitam de intervenções catalizadoras, com capacidade para vitalizar/revitalizar áreas que necessitem ser reabilitadas (Lerner, 2003). Edifícios voltados para agricultura urbana, se adequadamente localizados, poderiam ter essa função catalizadora, favorecendo e induzindo mudanças no comportamento humano e no funcionamento das cidades, visando a atender demandas atuais por práticas mais sustentáveis.

Considerando-se o caráter inovador de tais edificações, busca-se discutir a aplicação da construção em aço às suas demandas programáticas. Aspectos associados aos pressupostos de industrialização e racionalidade são trabalhados no projeto arquitetônico de um edifício modular, pautado por diretrizes de flexibilidade e adaptabilidade a diferentes condições de implantação urbana.

## 2.1. Métodos e processos

Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia adotada apoia-se, prioritariamente, na elaboração do projeto de arquitetura como um modelo icônico e analógico de investigação, conforme apresenta Serra (2006).

Para investigar as condições de flexibilidade e adaptabilidade do modelo proposto foram simuladas três implantações do edifício em terrenos diversos, em Belo Horizonte, Minas Gerais. A escolha dos terrenos pretendeu explorar formas, dimensões e condições topográficas distintas, em variadas situações urbanas.

Dois terrenos localizam-se em áreas de grande densidade populacional, no Hipercentro da cidade. O terceiro terreno está em área de significativa vulnerabilidade social, nos limites entre um bairro já consolidado e uma vila de autoconstruções. Nos três casos optou-se por regiões caracterizadas por demandas de reabilitação, nas quais o edifício poderia se constituir como eficaz elemento de Acupuntura Urbana (Lerner, 2003).

## 2.2. Estratégias de projeto e componentes da edificação

Partiu-se de um modelo modular ortogonal em três dimensões, para possibilitar sua inserção em terrenos com distintas dimensões e condições topográficas (Figura 4).

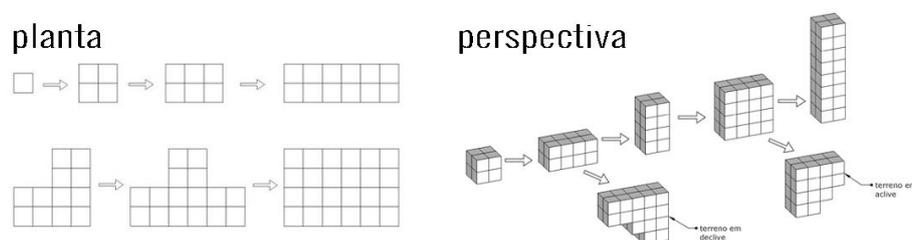


Figura 4 – Arranjos modulares, em plantas e volumes.

(Fonte: Costa, 2017)

Atendendo à demanda pela utilização de componentes industrializados, optou-se por uma organização simples para a forma do edifício, baseada na padronização e na modulação de elementos construtivos e componentes. A padronização foi adotada

para simplificar processos de fabricação dos elementos construtivos e a montagem desses, no canteiro de obras. A modulação, de 3,00 m, foi adotada por se mostrar adequada tanto à fabricação quanto à logística de transporte, bem como por ser compatível com diferentes sistemas de cultivo.

Foi proposta a utilização de peças estruturais com padrão de mercado, sem necessidade de adequações específicas, com repetição de peças e padronização de ligações. Assim, buscou-se maior racionalidade na fabricação e utilização das peças estruturais, de modo a propiciar resultado de mais baixo custo, favorecendo também maior controle de qualidade. Para a estrutura portante foram especificados perfis soldados, em peças estruturais que não ultrapassam 3,00 m, exceto perfis CS (coluna soldada) com seção H para pilares, com 9,00 m de comprimento, e perfis VS (viga soldada) com seção I para vigas principais, com 6,00 m de comprimento (Figura 5).

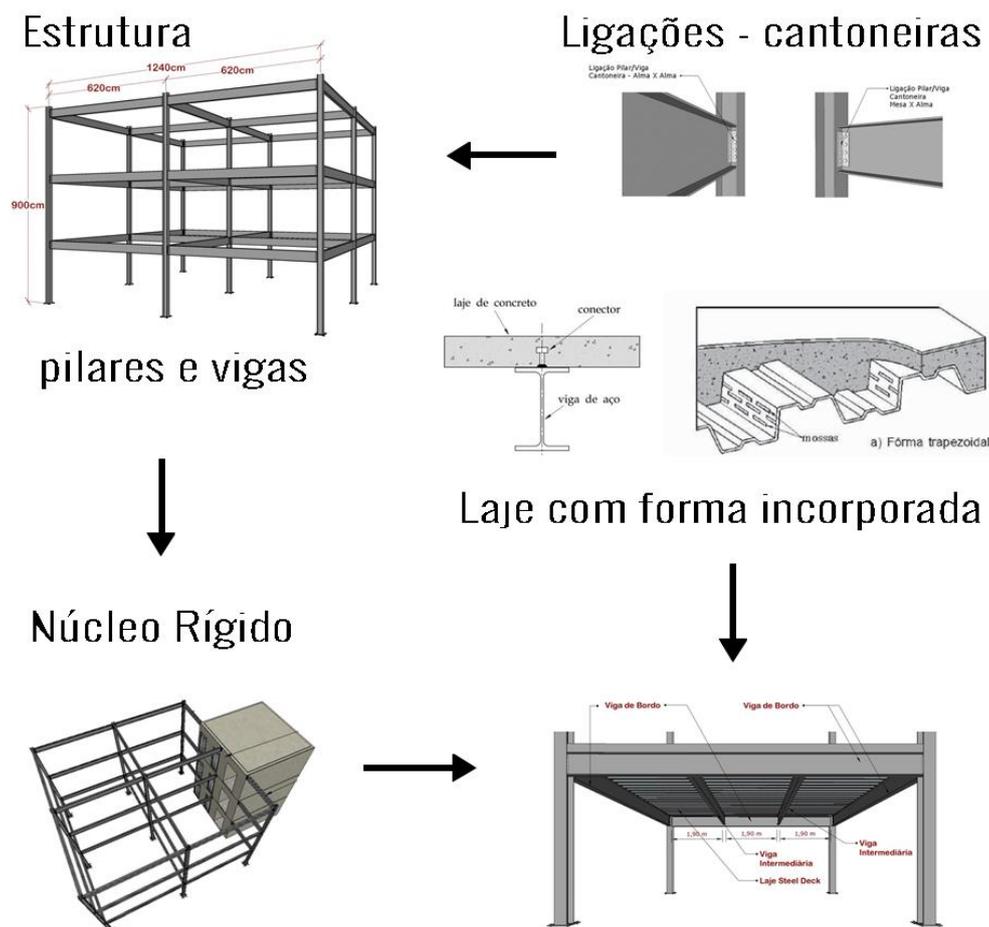


Figura 5 – Estrutura metálica – pilares, vigas, ligações, laje, núcleo rígido.

(Fonte: Costa, 2017)

Para as ligações entre pilares e vigas foi projetada a utilização de cantoneiras, prevendo-se apenas dois tipos de acoplamento: o primeiro conectando a alma da viga à alma do pilar e o segundo ligando a alma da viga à aba do pilar. Um núcleo rígido em concreto armado, abrigando a circulação vertical do edifício, foi concebido para estabilizar a estrutura metálica e absorver cargas horizontais (Figura 5).

Foram propostas lajes mistas, moldadas no local da obra com fôrmas incorporadas metálicas, de formato trapezoidal. Essas fôrmas se solidarizam com as vigas por meio de conectores de cisalhamento, trazendo maior rigidez ao conjunto da estrutura. Para apoiar essas lajes, que têm 36,00 m<sup>2</sup> de área, foram previstas vigas principais, que vencem vãos de 6,00 m de comprimento, reforçadas por um vigamento secundário, com espaçamento de 1,90 m (Figura 5).

Os painéis de fechamento externo foram propostos de modo a serem inseridos nos quadros definidos por pilares e vigas. Suas dimensões foram padronizadas de acordo com a modulação adotada para a estrutura. Para reduzir o trabalho de instalação no arcabouço estrutural, foi previsto que esses painéis, constituídos por perfis metálicos conformados a frio e placas cimentícias, chegassem montados ao canteiro de obra. Para possibilitar a montagem desses painéis de vedação pré-fabricados foram introduzidos montantes parafusados em furos oblongos, em desenho capaz de absorver deslocamentos verticais. Esse sistema de fechamento externo foi escolhido por ser ajustável à estrutura portante, permitindo maior agilidade e facilidade para execução (Figura 6).



Figura 6 - Painel de Vedação.

(Fonte: Costa, 2017)

Os painéis de fechamento externo foram concebidos de modo a possibilitar iluminação natural e ventilação natural cruzada, assegurando aeração para o cultivo, sem necessidade de indução mecânica.

Por se tratar de equipamento fixo, porém adaptável a diferentes composições do modelo edificado, o mobiliário utilizado para o cultivo no interior da edificação foi proposto como um elemento da edificação. Seus componentes são industrializados, de fácil manuseio e em sintonia com a macroestrutura do edifício: perfis leves, conformados a frio, comumente usados em estruturas de *Light Steel Framing* e em vedações internas do tipo *Drywall*. (Figura 7).

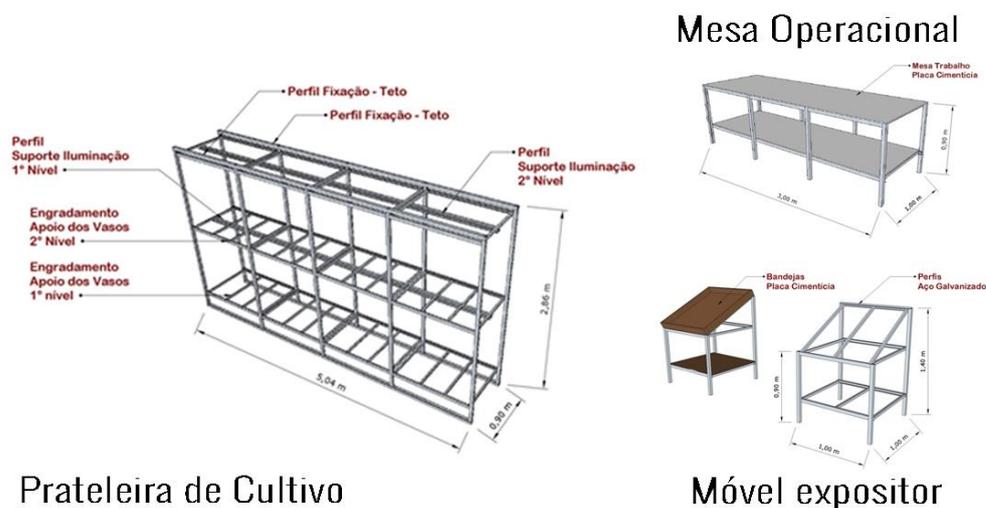


Figura 7 – Mobiliário Fixo.

(Fonte: Costa, 2017)

Com montagem simples, encaixados e aparafusados, estes perfis possibilitam configurar prateleiras, mesas de trabalho e balcões expositores. São utilizadas peças de, no máximo, 3,0 m de comprimento, de modo a facilitar o manuseio, a montagem e o transporte.

Ao propor a utilização de componentes industrializados na quase totalidade de seus elementos construtivos, o projeto busca obter melhores resultados nos processos envolvidos na produção dessa edificação e, mesmo, na sua manutenção. Procura, também, favorecer a operação do sistema de cultivo proposto.

### 2.2.1 Sistema de cultivo

O sistema de cultivo adotado é a aquaponia. Este simula um ecossistema por meio de uma associação entre a piscicultura, criação intensiva de peixes em tanques, e o cultivo de hortaliças e frutos por hidroponia, processo que dispensa a utilização da terra como substrato e emprega apenas água. (Brščan, 2015). Na recirculação de águas e nutrientes, a aquaponia permite o aproveitamento dos efluentes (Hundley e Navarro, 2013). Assim, a água circula pelo sistema saindo do tanque dos peixes, passando por filtros biológicos nos quais a amônia tóxica resultante da decomposição do nitrogênio orgânico presente nos restos de ração e nos dejetos produzidos pelos peixes é transformada por plantas e bactérias em nitrito e, a seguir, em nitrato, utilizado pelas plantas. (Hundley e Navarro, 2013). A água, então, retorna limpa ao tanque de peixes, em um ciclo fechado (Figura 8).

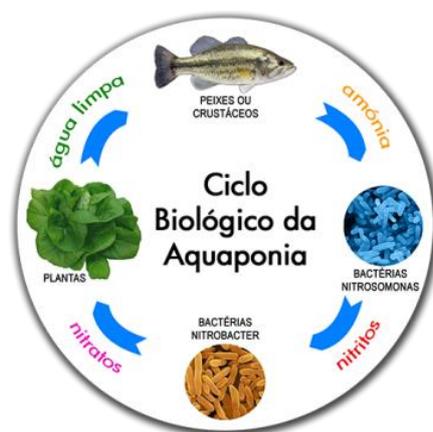


Figura 8 – Ciclo biológico da aquaponia  
(Fonte: Tudo Hidroponia, 2019)

O sistema mostra-se vantajoso para cultivo em ambientes fechados, com maior produtividade, tanto da piscicultura quanto da produção de hortaliças e frutos, e com baixo impacto no meio ambiente. (Hundley e Navarro, 2013). De fato, a aquaponia permite reduzir o consumo de água em até 90% em relação à agricultura tradicional (Brščan, 2015). Portanto a aquaponia tem características que se articulam ao conceito do modelo proposto.

## 2.2.2 Hidráulica e elétrica – sistemas alternativos

Para alimentação das descargas dos vasos sanitários e limpeza dos ambientes, foi prevista, além do sistema convencional de abastecimento de água, a coleta de água de chuva, a ser feita na laje de cobertura. Captada, a água de chuva seria direcionada para um sistema de tratamento de grandes partículas, situado no nível térreo (Figura 9).

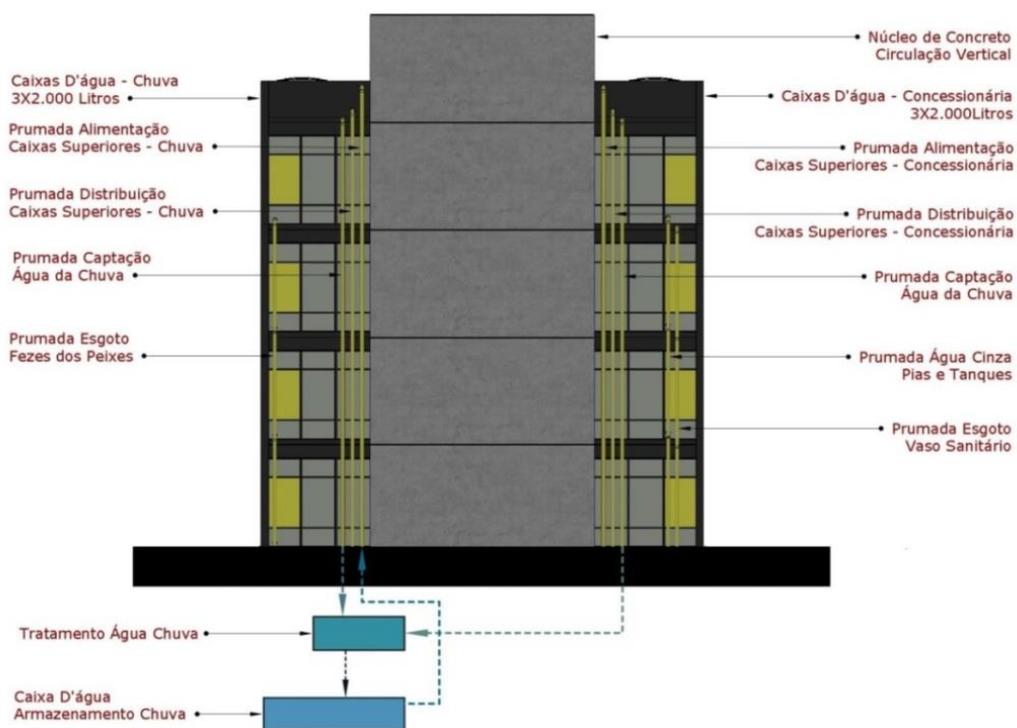


Figura 9 - Esquema das instalações hidráulicas – fachada posterior  
(Fonte: Costa, 2017)

Uma vez tratada, a água de chuva seria armazenada em outra caixa d'água, na cobertura, para ser distribuída a todos os pavimentos, que também contariam com água fornecida pela concessionária, assegurando o abastecimento no caso de estiagens. Associados, os dois sistemas possibilitariam reduzir significativamente o consumo de água tratada pela concessionária.

Foi previsto também um sistema de captação de energia solar, situado na cobertura do edifício (Figura 10), composto por placas fotovoltaicas, uma central transformadora e bateria. A quantidade de placas a serem instaladas dependeria do tamanho do edifício e de sua demanda por eletricidade. Nos casos em que a quantidade de placas

fotovoltaicas colocadas no terraço não fosse suficiente, painéis de fechamento vertical poderiam ser alterados para receber placas fotovoltaicas em seus vãos.

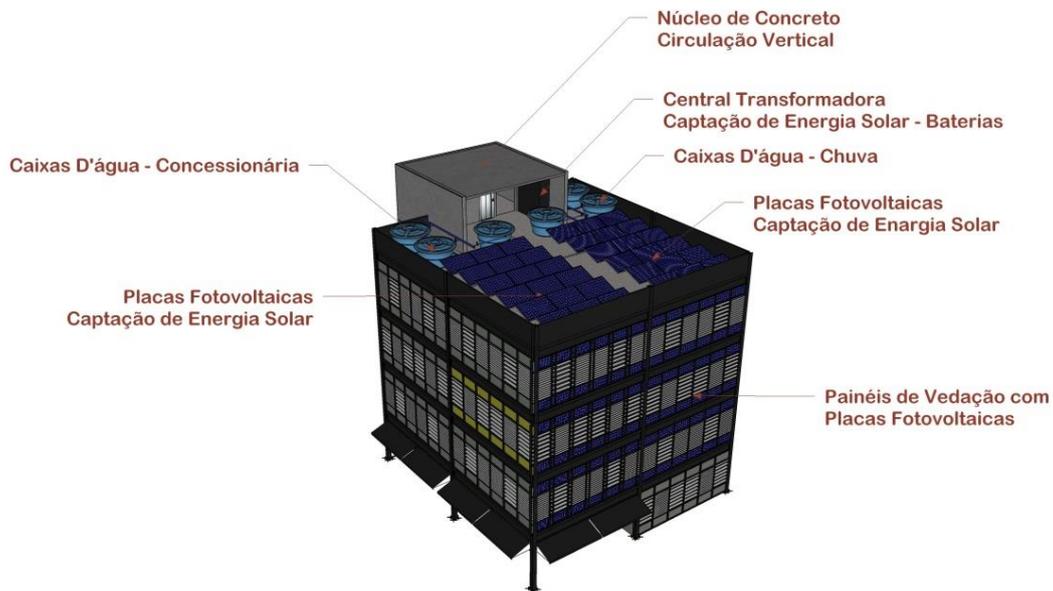


Figura 10 – Perspectiva isométrica do edifício - placas fotovoltaicas na cobertura  
(Fonte: Costa, 2017)

### 2.3 Ensaio sobre tipologias de implantação do modelo

Para estudar as condições de flexibilidade e adaptabilidade do modelo proposto foram desenvolvidas três implantações do edifício em terrenos diversos, em Belo Horizonte. O direcionamento dos processos de projeto foi preliminarmente estabelecido de modo a atender aos requisitos técnicos e funcionais das fazendas verticais, aliados aos requisitos necessários a uma adequada inserção urbana.

Para o funcionamento das fazendas verticais e operação do sistema de cultivo, atividades e usos foram distribuídas pelos andares, conforme suas demandas e características, observando-se as melhores condições de ventilação natural e de insolação do local. Independentemente da altura ou da geometria do edifício, todos os modelos simulados deveriam possuir, em seu pavimento térreo, um centro de distribuição do alimento produzido, funcionando como uma feira, aberta ao público, além dos ambientes necessários ao funcionamento do edifício e sua operação: área para funcionários, estoque, administração, lixo, carga e descarga.

Todos os pavimentos tipo teriam como finalidade exclusiva a produção de alimentos, com um sistema de aquaponia autônomo, composto por tanque de peixes, filtros e estantes para cultivo de vegetais. Essa configuração de sistemas independentes possibilitaria maior controle e melhor organização do cultivo. A maior eficiência dos processos encurtaria o ciclo de cultivo das plantas, proporcionando mais produtividade. Assim, a capacidade de produção de cada fazenda vertical estaria diretamente relacionada ao seu tamanho.

A primeira simulação - Modelo 1 - foi feita em um terreno plano, no Hipercentro de Belo Horizonte, próxima aos mercados centrais da cidade, com significativa demanda por alimentos frescos. No terreno escolhido funciona hoje um estacionamento, uso bastante comum na região. Considerou-se importante associar o programa do estacionamento existente ao do edifício da fazenda vertical. Para tanto, o estacionamento foi acomodado na lateral do terreno, em dois pavimentos com a mesma quantidade de vagas já explorada atualmente.

O pavimento tipo, com 190 m<sup>2</sup> de área, foi resolvido pela associação de um núcleo rígido e de quatro módulos de 6,00 m x 6,00 m. O Modelo 1 resultou em um edifício com nove pavimentos e 1.735m<sup>2</sup> de área construída (Figura 11).

Exemplificando a capacidade de produção de alimentos, com esta área o edifício produziria, em média, 5.900 pés de alface e 470 kg de tilápias por mês.



Figura 11 – Modelo 1, perspectivas externas. (Fonte: Costa, 2017)

Nas Figuras 12 e 13 são mostradas as soluções da feira, no pavimento térreo, e as áreas de cultivo, nos pavimentos tipo.



Figura 12 - Modelo 1, feira no nível térreo.

(Fonte: Costa, 2017)

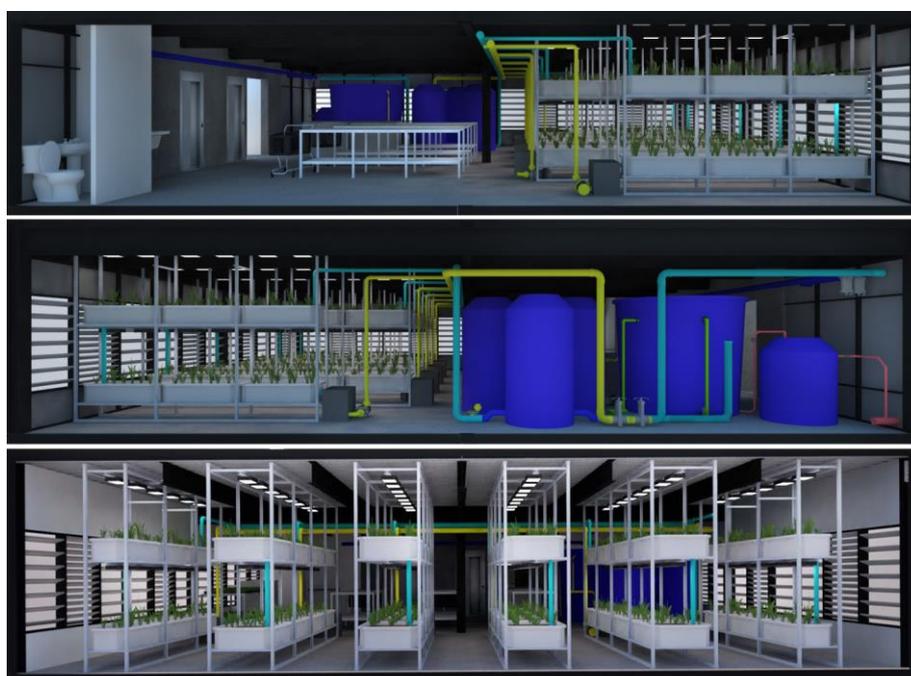


Figura 13 - Modelo 1, interior do pavimento tipo, sistema de aquaponia

(Fonte: Costa, 2017)

No pavimento de cobertura estariam locadas as placas com células fotovoltaicas para captação de energia solar e as caixas d'água necessárias à associação do reaproveitamento de água da chuva com a utilização de água fornecida pela concessionária. Na parte mais alta da fachada norte, placas com células fotovoltaicas seriam instaladas nos painéis de vedação externa do Modelo 1. Esse arranjo ampliaria as condições de captação de energia, para que a fazenda vertical pudesse alcançar maior sustentabilidade energética. (Figura 14).

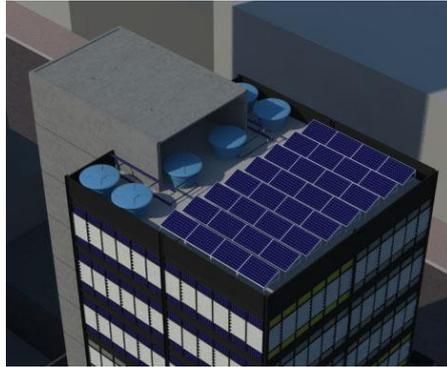


Figura 14 – Modelo 1, cobertura. (Fonte: Costa, 2017)

No segundo modelo também foi simulada implantação no Hipercentro de Belo Horizonte, num terreno de esquina, com topografia plana, localizado entre a Rodoviária e a Praça da Estação, em área comercial bastante degradada que abriga um depósito improvisado de materiais recicláveis.

A proposta arquitetônica do Modelo 2 articulou a fazenda vertical, com quatro pavimentos mais cobertura (1.024m<sup>2</sup>), a um galpão de materiais reciclados (340m<sup>2</sup>), mantendo a função econômica e social existente. Nesta área edificada, estima-se que o edifício produziria cerca de 2.650 pés de alface e 160 kg de tilápias por mês.

A implantação privilegiou afastamentos frontais mais largos para os pedestres. Nos fechamentos foi utilizado o aço patinável, explorando-se configurações cromáticas que indicam variadas possibilidades de inserção visual dos modelos em distintos contextos. O pavimento de cobertura abriga o sistema de captação de energia solar, as caixas d'água e também parte da produção de alimentos com módulos externos para cultivo, utilizando a técnica de hidroponia. (Figura 15).



Figura 15 – Modelo 2, perspectivas externas. (Fonte: Costa, 2017)

O Modelo 3 foi implantado em terreno com topografia em aclave e geometria irregular, distintas dos anteriores, nos limites entre um bairro e uma vila de autoconstruções de Belo Horizonte, ambos com grande densidade demográfica. Assim, esse equipamento buscaria atender às necessidades de uma comunidade carente, contribuindo para criação de novos empregos e promovendo educação ambiental.

Nesta proposta reduziu-se a altura do edifício e ampliou-se o pavimento tipo. Foram projetados quatro níveis, mais a cobertura, totalizando 688 m<sup>2</sup> de área construída, nos quais seria possível uma produção mensal de 1.400 pés de alface e 210 kg de tilápias. (Figura 16). Espaços livres no terreno foram utilizados para incorporar outros sistemas de aquaponia. Na cobertura, parte da área foi ocupada com camas de cultivo. Neste modelo, sendo a edificação menor, há menor consumo energético, reduzindo a demanda por captação de energia solar. Como os demais modelos apresentados, este também possui um espaço de feira. (Figura 17).

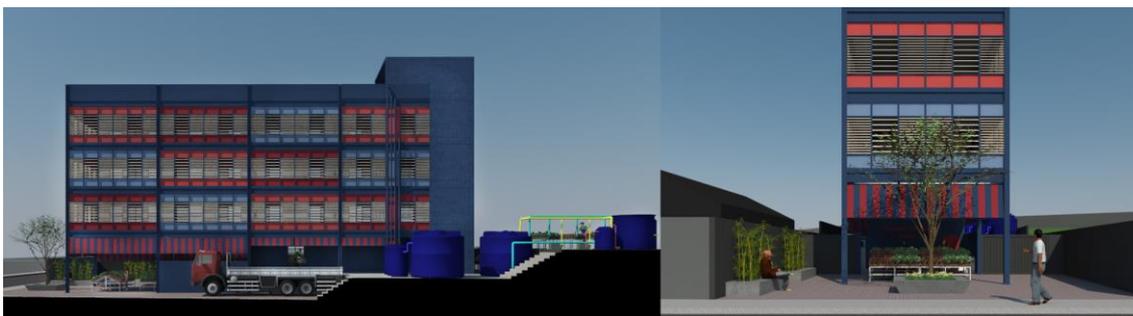


Figura 16 – Modelo 3 - perspectivas externas. (Fonte: Costa, 2017)



Figura 17 – Modelo 2 - volumetria. (Fonte: Costa, 2017)

Nos três modelos de implantação simulados, enfatizou-se a flexibilidade projetual, a partir da utilização de componentes metálicos padronizados. Os espaços arquitetônicos propostos para o sistema de cultivo adotado poderiam ser adaptados para a produção de vários outros tipos de vegetais e peixes, além daqueles exemplificados. Assim como as edificações poderiam ser implantadas em vários outros locais, aliando a capacidade produtiva das fazendas verticais ao potencial das edificações se constituírem como elementos de Acupuntura Urbana (Lerner, 2003), reabilitando áreas carentes de maior vitalidade.

### **3 Considerações finais**

Pretendeu-se, neste estudo, abordar o potencial arquitetônico da construção metálica para atender ao programa de edifícios de múltiplos pavimentos com funções de *fazendas verticais* urbanas, explorando-se estratégias projetuais de concepção arquitetônica baseadas na modularidade, flexibilidade e adaptabilidade dos espaços.

Por meio do desenvolvimento do projeto arquitetônico, verificou-se que a utilização de componentes metálicos industrializados, padronizados e modulares mostra-se eficiente para atender às necessidades de replicação do modelo e sua adaptabilidade para implantação em diferentes localidades. Esses componentes, utilizados na quase totalidade do edifício, proporcionariam obras relativamente rápidas, se comparada aos processos hegemônicos em concreto armado, obras secas e com pouco desperdício. (Araújo, 2017). A execução dos edifícios se resumiria à montagem de elementos prontos, pré-fabricados, que também poderiam ser desmontados e remontados em outros locais, em práticas mais sustentáveis que as atuais.

Assim, o estudo desenvolvido trouxe um conjunto de soluções e alternativas arquitetônicas pensadas para a realidade brasileira contemporânea e alinhadas à agenda mundial de redução do CO<sup>2</sup>. Técnicas de cultivo *indoor* das *fazendas verticais* propostas, mostram-se pertinentes para simplificar a cadeia produção/distribuição dos alimentos, em edifícios que teriam grande potencial para reabilitar e qualificar áreas centrais das cidades.

Ao articularem a tecnologia construtiva em aço e a ciência do cultivo *indoor*, as técnicas aplicadas à concepção de arquitetura das fazendas verticais urbanas apresentam-se como uma contribuição para o bem estar social e para que a atividade humana possa ser cada vez menos nociva ao meio ambiente.

#### 4 Agradecimentos

Os autores agradecem à UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto) e ao Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica.

#### 5 Referências

AQUINO, Adriana Maria de; ASSIS, Renato Linhares de. Agricultura orgânica em áreas urbanas e periurbanas com base na agroecologia. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 137-150, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v10n1/v10n1a09.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2019.

ARAÚJO, Luís Otávio Cocito de. **Benefícios do incremento das operações off-site em empreendimentos imobiliários**. ICEUBI 2017 - Internacional Congress on Engineering. A vision of future, Covilhã, Portugal, Universidade da Beira Interior, 2017. p. 989-1000.

BAUERMANN, Maristela. **Uma investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos em aço**. 2002. 254f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2002. Disponível em: <<http://www.propec.ufop.br/teses-e-dissertacoes/46/uma-investigacao-sobre-o-processo-de-projeto-em-edificios-de-andares-multiplos-em-aco>>. Acesso em: 21 maio 2019.

BELLEI, Ildony; PINHO, Fernando Ottoboni; PINHO, Mauro Ottoboni. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.

BRŠĆAN, Ivan Marinović. Integrar criação de peixes com hortaliças economiza 90% de água e elimina químicos. **Notícias Embrapa**, Brasília, abr. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2767622/integrar-criacao-de-peixes-com-hortalicas-economiza-90-de-agua-e-elimina-quimicos>>. Acesso em: 21 maio. 2019.

CHING, Francis D. K.; ONOUY, Barry S.; ZUBERBUHLER, Douglas. **Sistemas estruturais ilustrados**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

CHO, Renée. Vertical Farms: from vision to reality. **State of the Planet. News from the Earth Institute**. New York, Oct., 13, 2011. Disponível em: <<https://blogs.ei.columbia.edu/2011/10/13/vertical-farms-from-vision-to-reality/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

COSTA, Lucas Leite. **Sistema metálico modular para agricultura urbana: uma nova abordagem na cadeia produtiva dos alimentos para cidades do século XXI**. 2017.

112f. Dissertação (Mestrado Profissional em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

DESPOMMIER, Dickson. **The Vertical Farm, Feeding the World in 21st Century**. New York: Picador, 2010.

DESPOMMIER, Dickson. Rationale for Vertical Farms. **The Vertical Farm Essays**, New York, Aug. 2015. Disponível em: <[http://www.verticalfarm.com/?page\\_id=36](http://www.verticalfarm.com/?page_id=36)>. Acesso em: 28 maio 2019.

DESPOMMIER, Dickson. Status of Vertical Farms 2018. **The Vertical Farm Essays**, New York, Dec. 2018. Disponível em: <[http://www.verticalfarm.com/?page\\_id=75](http://www.verticalfarm.com/?page_id=75)>. Acesso em: 28 maio 2019. DESPOMMIER, Dickson. Status of Vertical Farms 2018. **The Vertical Farm Essays**, New York, Dec. 2018. Disponível em: <[http://www.verticalfarm.com/?page\\_id=75](http://www.verticalfarm.com/?page_id=75)>. Acesso em: 28 maio 2019.

GERVÁSIO, Helena Maria. **A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas: contribuições técnicas** – Construmetal 2008 - Congresso Latino-Americano da Construção Metálica. São Paulo. 2008. ISSN: 1414-6517. Disponível em: <<https://www.abcem.org.br/construmetal/2008/contribuicoes2.php>>. Acesso em: 28 maio 2019.

HUNDLEY, Guilherme Crispim; NAVARRO, Rodrigo Diana. Aquaponia: integração entre piscicultura e hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**.

LERNER, Jaime. **Acupuntura urbana**. Rio de Janeiro: Record, 2003.

MACHADO, Altair Toledo; MACHADO, Cynthia Torres de Toledo. **Agricultura urbana**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. Disponível em: <<https://ciorganicos.com.br/wp-content/uploads/2016/10/Agriurbana-EMBRAPA.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2019.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999, 189p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

SALSA, Carla. Geração de resíduos de construção civil: desafios e soluções. **Revista Eletrônica EcoDebate**, Mangaratiba, RJ, maio 2009. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2009/05/18/geracao-de-residuos-de-construcao-civil-desafios-e-solucoes-artigo-de-carol-salsa/>>. Acesso em 28 maio 2019.

SERRA, Geraldo Gomes. **Pesquisa em arquitetura e urbanismo**: guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação. São Paulo: EDUSP, 2006.

TEIXEIRA, Renata Bacelar. **Análise da gestão do processo de projeto estrutural em construções metálicas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

TUDOHIDROPONIA. **Tudo hidroponia**. Disponível em: <<http://tudohidroponia.net/o-que-e-aquaponia/>>. Acesso em 28 fev. 2017.

WEBER THOMPSON. Newark Vertical Farm. **Weber Thompson Architects**, Seattle, Estados Unidos, 2019. Disponível em: <<http://www.weberthompson.com/projects/321?tag=Innovation+%26+Research>>. Acesso em: 28 maio 2019.