

SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO EM MATERIAIS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

m a t e r i a l i d a d e s

Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima
(organizadora)

Cegraf UFG





UFG Universidade Federal de Goiás

Reitora

Angelita Pereira de Lima

Vice-Reitor

Jesiel Freitas Carvalho

Diretora do Cegraf UFG

Maria Lucia Kons

Conselho editorial deste livro

Juliana Guimarães Faria

Universidade Federal de Goiás (UFG)

Leonardo Morais Gonçalves Ayres

Universidade de Brasília (UnB)

Lilian Witiscovski

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Livia Ferreira Santana

Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG)

Simone Gonçalves Sales Assunção

Universidade Federal de Goiás (UFG)

SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO EM MATERIAIS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

m a t e r i a l i d a d e s

Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima
(organizadora)

Cegraf UFG

2024

© 2024 Cegraf UFG

© 2024 Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima

Capa, projeto gráfico e diagramação

Allyson Moreira Goes

Revisão

Juliana Guimarães Faria; Leonardo Morais

Gonçalves Ayres; Lilian Witiscovski; Livia Ferreira

Santana e Simone Gonçalves Sales Assunção.

Doi deste livro:

<https://doi.org/10.5216/SUS.ebook.978-85-495-0986-4/2024>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Sustentabilidade e inovação em materiais e técnicas construtivas [livro eletrônico] : materialidades / Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima, (organizadora). -- Goiânia : Cegraf UFG, 2024.
PDF

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-85-495-0986-4

1. Arquitetura 2. Construção civil 3. Inovação
4. Materiais - Especificações 5. Sustentabilidade
6. Urbanismo I. Lima, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira.

24-228040

CDD-720

Índices para catálogo sistemático:

1. Arquitetura e urbanismo 720

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

SUMÁRIO

7 APRESENTAÇÃO

TÓPICOS ESPECIAIS EM PROCESSOS E TECNOLOGIAS DE PROJETO

11 CAPÍTULO 1 O DESPERTAR DA CONSCIÊNCIA AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ANÁLISE HISTÓRICA DA EVOLUÇÃO DA DISCUSSÃO

Lucas Italo Silva Ribeiro

24 CAPÍTULO 2 ACREDITAÇÕES HOSPITALARES E CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS: UM PARALELO ENTRE A GARANTIA DE QUALIDADE E A SUSTENTABILIDADE

María Eduarda da Costa Alves

42 CAPÍTULO 3 INOVAÇÕES EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS: UMA PERSPECTIVA DA NANOTECNOLOGIA E BIOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Larisse Correia de Sousa Bressan

56

CAPÍTULO 4
MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Sarah Yasmin Pereira Marques

74

CAPÍTULO 5
DO RIO AO RALO: UM ESTUDO SOBRE O
CONSUMO E PERDA DE ÁGUA POTÁVEL EM
AMBIENTES DOMÉSTICOS

Felipe Veloso de Paula

91

SOBRE OS AUTORES

APRESENTAÇÃO

Os textos compilados neste *e-book* foram escritos pelos estudantes da disciplina “Tópicos Especiais em Processos e Tecnologias de Projeto com enfoque em Sustentabilidade e Inovação em Materiais e Técnicas Construtivas – Materialidades”, ministrada no Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade (PPG Procidade) da FAV/UFG em 2023/2.

Por meio da pesquisa e dedicação dos alunos, este *e-book* é destinado a profissionais da construção: arquitetos, engenheiros, designers, etc., estudantes de arquitetura, engenharia e áreas afins e, ainda, pessoas interessadas em sustentabilidade e inovação na construção. Aqui são abordadas soluções inovadoras para os desafios da construção atual, materiais e técnicas que promovem a sustentabilidade e visões atualizadas sobre o futuro da construção.

O capítulo 1, de Lucas Italo Silva Ribeiro, intitulado —O Despertar da Consciência Ambiental na Construção Civil: Uma Análise Histórica da Evolução da Discussão— discute a evolução da consciência ambiental na indústria da construção, enfatizando marcos importantes como a Conferência de Estocolmo, o conceito de desenvolvimento sustentável e a Rio Eco-92. Ele destaca a importância da implementação de práticas sustentáveis, alternativas renováveis e da necessidade de colaboração entre governos, empresas e sociedade civil para alcançar um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. A pesquisa destaca a importância de regulamentações rigorosas, práticas sustentáveis, monitoramento eficaz, tecnologias limpas, alternativas renováveis e uma economia circular para proteger o meio ambiente e abrir caminho para um futuro mais sustentável e resiliente.

Em seguida, o capítulo 2 traz —Acreditações Hospitalares e Certificações Ambientais: Um Paralelo Entre a Garantia de Qualidade e Sustentabilidade—, de autoria de Maria Eduarda da Costa Alves. O texto discute a importância das certificações e creditações nos setores de saúde e construção, enfatizando como esses processos contribuem para a melhoria da qualidade dos serviços

prestados. Menciona estudos empíricos que subsidiam o desenvolvimento dessas normas e os impactos positivos observados em hospitais acreditados. Diversas certificações como LEED, Breeam, ISO, ONA e Joint Commission International também são destacadas. A autora ressalta a importância da avaliação crítica, da transparência e da prestação de contas na busca dessas certificações, para além dos benefícios como a melhoria da gestão e o reconhecimento público.

O capítulo 3 – Inovações em Materiais Cimentícios: Uma Perspectiva da Nanotecnologia e Biotecnologia na Construção Civil, de autoria de Larisse Correia de Sousa Bressan, revisa inovações em materiais cimentícios na indústria da construção, com foco em nanotecnologia e biotecnologia. Essas tecnologias têm como objetivo desenvolver materiais mais duráveis, sustentáveis, com propriedades melhoradas. A nanotecnologia manipula átomos para criar novas estruturas em nanoescala, enquanto a biotecnologia envolve a manipulação de organismos vivos. O potencial dessas tecnologias de revolucionar a construção, produzindo materiais mais leves, mais fortes, com menor impacto ambiental, é destacado. Exemplos de materiais nano modificados incluem nanotubos de carbono, revestimentos, concreto, telhas, tubos, estruturas, filme solar e tintas.

O capítulo 4, de Sarah Yasmin Pereira Marques, –Manufatura Aditiva na Construção Civil: Desafios e Oportunidades– discute o uso de tecnologias de impressão 3D e materiais sustentáveis na indústria da construção, com foco em aplicações em arquitetura e engenharia para construções ecologicamente corretas. Ele explora os benefícios da impressão 3D na construção, como a redução de custos, tempos de construção mais rápidos e menor impacto ambiental, enquanto também aborda desafios como custos iniciais de investimento, requisitos de mão de obra qualificada e questões de escalabilidade. A adoção da manufatura aditiva na construção é vista como uma maneira de promover a sustentabilidade, explorando novos materiais para substituir os tradicionais, como o concreto, levando a estruturas inovadoras e potencial para construções mais ecológicas.

O texto de Felipe Veloso de Paula, intitulado —Do Rio ao Ralo: Um Estudo Sobre o Consumo e Perda de Água Potável em Ambientes Domésticos— presente no último capítulo, discute vários aspectos relacionados ao consumo de água em domicílios, incluindo estudos sobre fatores influentes, dispositivos economizadores de água, captação de água da chuva, medidores inteligentes, o impacto das condições climáticas, entre outros. Também faz referência a relatórios e publicações de organizações como a Unesco e a Unicef sobre o assunto. Enfatizando a importância do uso racional da água nas casas, o estudo destaca a necessidade de uma gestão eficaz para promover a sustentabilidade dos recursos hídricos. Estratégias como implementação de dispositivos economizadores de água e uso de medidores inteligentes são exploradas, juntamente com a importância de conscientizar a população sobre práticas de conservação da água. O documento analisa os fatores de perda de água no ciclo urbano, o uso doméstico de água potável e a aplicabilidade de equipamentos economizadores de água para o uso racional da água em domicílios.

Esperamos que desfrutem.

Fabiolla Xavier Rocha Ferreira Lima

Organizadora

Programa de Pós-Graduação

em Projeto e Cidade

Tópicos Especiais em Processos e Tecnologias de Projeto

CAPÍTULO 1

O DESPERTAR DA CONSCIÊNCIA AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ANÁLISE HISTÓRICA DA EVOLUÇÃO DA DISCUSSÃO

Lucas Italo Silva Ribeiro

Diante das transformações que a sociedade estava passando em meados do século XVIII, surgiram iniciativas para debater as questões ambientais que estavam sendo criadas com os avanços tecnológicos do período. Apesar do pioneirismo desses movimentos, eles ainda eram incipientes e não conseguiram levar esse debate a toda a sociedade na época. Segundo Czapski (1998), é a partir da Segunda Guerra Mundial que se iniciam estudos mais robustos sobre os impactos provocados pelo ser humano ao meio ambiente. Isso se deve, em parte, pela destruição que a guerra provocou em diversos locais do planeta através de explosivos e substâncias tóxicas e radioativas.

Além disso, a Segunda Guerra Mundial proporcionou o desenvolvimento das comunicações, facilitando assim a troca de informações entre diferentes lugares e nações. Portanto, as catástrofes que aconteciam em lugares distantes passaram a ser conhecidas pela população de outros países, o que acabou causando uma aproximação entre os defensores da natureza e os cientistas (Czapski, 1998).

A primeira grande iniciativa de chefes de Estados para tratar do assunto foi organizada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a

Ciência e a Cultura (Unesco) na cidade francesa de Fontainebleau, em 1948. Nessa conferência, reuniram-se dezoito governos e mais de uma centena de organizações em defesa do meio ambiente. O principal resultado desta conferência foi a criação da União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) - originalmente com o nome de “União Internacional para a Proteção da Natureza”. Composta por organizações governamentais e pela sociedade civil, a UICN tem como objetivo viabilizar o progresso humano e o desenvolvimento econômico com a conservação da natureza.

Neste período houve uma série de publicações importantes em todo o mundo, que se tornaram referência para os estudos sobre o tema do meio ambiente. Dentre as principais publicações, é possível citar: Fundamentos da Ecologia, de Eugene P. Odum, publicado em 1953; Primavera Silenciosa, de Rachel Carson, publicado em 1962; e Antes que a Natureza Morra, de Jean Dorst, publicado em 1965. Aliado à edição dessas grandes referências para o assunto também se somaram à luta a sociedade civil.

O mundo estava em ebulição. Multiplicavam-se as manifestações pela liberação feminina, em favor dos negros, e também na área ambiental. O ano de 1968 representou o auge. Nos cinco continentes, ocorreram grandes movimentos que almejavam uma nova maneira de agir, pensar e sentir. Entre estas mobilizações, os eventos mais famosos foram a “revolução estudantil de maio,” na França, e a “Primavera de Praga”, na Tchecoslováquia (Czapski, 1998, p. 27).

Os movimentos sociais que defendem a pauta ambiental estão presentes em toda a sociedade e em diferentes formas de organização. Desde o associativismo local, onde a sociedade civil se une, principalmente, na luta do cotidiano em sua comunidade imediata; até as formas de articulação intraorganizacionais, onde é feita uma luta com um maior nível de institucionalização, por meio de ONGs e outras organizações. Um nível de atuação importante também são as mobilizações na esfera pública, onde o trabalho produzido pelos movimentos sociais é levado para o espaço público a fim de buscar visibilidade para a pauta (Scherer-Warren, 2006).

Neste mesmo período se consolidou um dos conceitos mais discutidos e difundidos no âmbito das discussões sobre meio ambiente, a sustentabilidade. Esse termo possui uma série de definições por diversos autores e órgãos mundiais e, dentre todas as variações, a sustentabilidade pode ser caracterizada como uma:

[...] matriz da eficiência, que pretende combater o desperdício da base material do desenvolvimento, estendendo a racionalidade econômica ao —espaço não mercantil planetário—; da escala, que propugna um limite quantitativo ao crescimento econômico e à pressão que ele exerce sobre os —recursos ambientais—; da equidade, que articula analiticamente princípios de justiça e ecologia; da autossuficiência, que prega a desvinculação de economias nacionais e sociedades tradicionais dos fluxos do mercado mundial como estratégia apropriada a assegurar a capacidade de autorregularão comunitária das condições de reprodução da base material do desenvolvimento; da ética, que inscreve a apropriação social do mundo material em um debate sobre os valores de Bem e de Mal, evidenciando as interações da base material do desenvolvimento com as condições de continuidade da vida no planeta (Ascerald, 1999).

A partir da difusão do discurso da sustentabilidade, o conceito passou a ser discutido nas mais diferentes áreas da sociedade, sobretudo nos setores econômicos, como foi o caso da construção civil. Nesse setor, a discussão emergiu como uma forma de problematizar as práticas presentes na cadeia produtiva da construção e chamar atenção dos profissionais envolvidos sobre a necessidade de reconhecer e adotar práticas que impactam menos o meio ambiente. Assim, com a conscientização, o tema tem sido cada vez mais visto como uma necessidade dentro do setor, frente ao cenário de emergência ambiental que o mundo vive atualmente.

1. METODOLOGIA

O que se pretende com este trabalho é desenvolver uma pesquisa básica que, de acordo com Prodanov e Freitas (2013), é o tipo de trabalho em que o principal propósito é gerar novos conhecimentos sem aplicação prática pre-

vista. Portanto, nesta pesquisa será adotado como método de desenvolvimento do trabalho os procedimentos técnicos da pesquisa bibliográfica a fim de fundamentar e contribuir para a compreensão da temática em questão e dar base às discussões pretendidas.

A etapa de revisão bibliográfica tem a finalidade de contribuir para o desenvolvimento do trabalho, fundamentar a escrita e fortalecer o conhecimento a respeito dos assuntos que tocam a pesquisa. Diferentes materiais serão consultados nesta pesquisa, como livros, revistas, publicações em periódicos, artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico e internet.

1.1. Cenário internacional

Em junho de 1972 foi organizado um importante evento internacional pela Organização das Nações Unidas (ONU) em Estocolmo, Suécia. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, também chamada apenas de Conferência de Estocolmo, ficou marcada na história por ser o esforço internacional para lidar com as questões ambientais ao reunir um maior quantitativo de representantes de Estados e instituições. A conferência contou com a presença de 113 países e cerca de 400 instituições governamentais e não governamentais que, ao longo de doze dias, debateram e elaboraram propostas de caminhos alternativos para o desenvolvimento da humanidade.

O principal documento da conferência foi a Declaração sobre o Ambiente Humano, que reunia metas e 26 princípios comuns¹ que se propunham a oferecer ao mundo inspiração e ser um guia para se preservar e melhorar a relação da sociedade com o meio ambiente. A Conferência de Estocolmo também foi o palco da criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), responsável por coordenar as ações internacionais de salvaguarda ao meio ambiente e de incentivo ao desenvolvimento sustentável.

¹ Os princípios da Declaração se atentam à necessidade de oferecer a todo o mundo ferramentas para se preservar e melhorar o meio ambiente humano. Disponível em: <<http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-de-estocolmo-sobre-o-ambiente-humano.html>>. Acessado em: 01 de setembro de 2021.

Na década de 1980 foi criada pela ONU a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, composta por diferentes nações e organizações, que tinha o objetivo de reavaliar questões críticas relativas ao meio ambiente e pensar alternativas baseadas na cooperação internacional. A comissão teve como produto o documento intitulado *Nosso Futuro Comum*, também conhecido como *Relatório de Brundtland*, que fez com que o termo –desenvolvimento sustentável– ficasse conhecido mundialmente (Marcatto, 2002).

De acordo com o relatório (1991, p. 46), desenvolvimento sustentável seria o modelo que –atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades–. O documento traz em seu texto argumentos que provam que a crise ambiental está interligada com a crise de desenvolvimento e energética, impactando assim todo o planeta, segundo Czapski (1998).

É a compreensão de que se deve aplicar um modelo sustentável no programa de desenvolvimento do planeta, pensando nas gerações futuras, que conferem a importância histórica deste documento. A partir da publicação do *Nosso Futuro Comum*, os esforços mundiais nessa temática buscam garantir que a sociedade do futuro tenha a possibilidade de usufruir dos mesmos recursos naturais que estão disponíveis no tempo presente. Além disso, também para entender esse pressuposto como um direito das próximas gerações.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro, foi o evento mais importante nesse contexto já realizado até então. Conhecido também como *Eco-92* ou *Cúpula da Terra*, o evento aconteceu 20 anos após a Conferência de Estocolmo e conseguiu reunir 178 nações com o objetivo de decidir as medidas para a diminuição da degradação ambiental e garantia da existência de futuras gerações no planeta.

Trazendo a preocupação com o desenvolvimento logo em seu título, o conceito cunhado em 1987, no documento *Nosso Futuro Comum*, foi amplamente discutido e sua implementação incentivada na conferência. Nos doze dias da conferência os temas discutidos foram:

- O crescimento econômico atual se dá através do crescimento das desigualdades; o crescimento baseado na economia de mercado levada às últimas consequências pode aprofundar as desigualdades entre e dentro das nações;
- O crescimento econômico atual transfere para a sociedade os custos sociais e ambientais da exploração do meio ambiente, alargando as desigualdades sociais e econômicas;
- A parceria para administrar o meio ambiente requer maior justiça econômica para os países em desenvolvimento;
- Os países em desenvolvimento necessitam de ajuda econômica para saírem do duplo nó pobreza e destruição ambiental;
- É necessário deter o consumo excessivo, principalmente dos países do primeiro mundo (Marcatto, 2002, p. 27).

Os produtos gerados a partir da conferência foram a Carta da Terra; a criação de três convenções vinculadas às Nações Unidas (sobre Diversidade Biológica, Combate à Desertificação e Mudança do Clima); a Declaração de Princípios sobre Florestas; a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento; e a Agenda 21. O volume de ações geradas a partir da Eco-92 demonstra a força e a importância que o evento teve na época em que aconteceu e, dentre os citados, é a Agenda 21 que possui maior destaque por ser um documento que apresentava medidas concretas e imediatas para implementação de mudanças na sociedade (Czapski, 1998).

O documento recebeu essa nomenclatura em referência às medidas que deveriam ser aplicadas para garantir a existência de um século XXI para todas as gerações. A Agenda 21 é um documento extenso, com mais de 600 páginas divididas em 40 capítulos, e pode ser entendida como um plano de ações e de metodologias para a transformação da realidade no planeta. Em uma das suas recomendações é indicada a criação de documentos locais que venham abranger a temática ambiental, considerando as particularidades de cada nação.

Em um período mais recente, aconteceu em junho de 2012 a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, também sediada na cidade do Rio de Janeiro. O evento, conhecido também como Rio+20, tinha

como objetivo discutir sobre a renovação do compromisso político com o desenvolvimento sustentável. Apesar de ter reunido uma quantidade maior do que o evento que o antecedeu, 188 nações, acabou não tendo o impacto e a repercussão da Eco-92.

1.2. Cenário nacional

No Brasil, no âmbito governamental federal, já existia desde 1973 a Secretaria Especial de Meio Ambiente, vinculada ao extinto Ministério do Interior, com o objetivo de tratar das políticas destinadas ao meio ambiente. Mas foi no ano 1985, através do Decreto nº 91.145, que a então secretaria tomou status de ministério e passou a ter mais importância no cenário político. Com a denominação inicial de Ministério do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente, a instituição passou por diversas modificações e ajustes até chegar no atual formato.

A criação do Ministério do Meio Ambiente antecedeu o reconhecimento da importância do meio ambiente para a nação na Constituição Brasileira, constando em texto somente a partir da data de promulgação da Constituição de 1988. No artigo 225 é tratado o tema do meio ambiente e da importância de sua preservação, além de dar suporte às leis ambientais que foram regulamentadas em períodos posteriores.

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Brasil, 1988, online).

O desenvolvimento da Agenda 21 Brasileira foi coordenado pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável (CPDS), formada por representantes da sociedade civil organizada e Ministérios Federais responsáveis pelas questões de desenvolvimento e de meio ambiente, e teve sua elaboração iniciada quatro anos após a Eco-92. Esse processo foi desenvolvido com a participação da sociedade civil e, de acordo com informações do Ministério do

Meio Ambiente², mais de 40 mil brasileiros e brasileiras puderam contribuir para a criação desse instrumento.

Todo esse histórico mostra como o despertar da consciência ambiental no mundo é um processo recente, e que ainda hoje enfrenta resistência. Mas, a realidade tem deixado clara a importância de se levar a sério esse tema, pois, sem a devida atenção, não haverá um amanhã sustentável para as próximas gerações no planeta.

1.3. Discussão na construção civil

O setor econômico da construção civil é, de acordo com Pereira (2007), um dos setores que mais consome recursos naturais e que mais produz resíduos. Esse fato é compreensível, uma vez que a construção civil está presente em todos os âmbitos da atividade humana. Da simples casa a grandes obras de infraestrutura nas cidades, a indústria da construção faz-se presente com suas benesses e prejuízos ao ambiente natural.

O impacto direto desse setor ao meio ambiente se deve em grande parte aos insumos necessários para o desenvolvimento da sua cadeia produtiva. Entre as principais matérias-primas utilizadas nesta indústria, estão: água, argila, areia, calcário, pedras, madeira e metais. O ciclo que alimenta a construção civil é extenso e muitos materiais chegam a esse setor a partir de outras indústrias, onde são beneficiados até chegar ao canteiro de obras.

Outros impactos causados pelo setor estão relacionados ao canteiro de obras, prestação de serviços, utilização de maquinários na construção, movimentação de solo e geração de resíduos. Há ainda o transporte de materiais da construção civil que, comumente, necessita de uma grande logística devido ao emprego de materiais que não são encontrados na mesma região da obra.

Todos esses materiais e componentes são transportados de uma etapa a outra. Podendo percorrer longas distâncias em caminhões movidos a diesel. O setor de transporte rodoviário possui uma

² Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira.html>>. Acessado em: 06 de setembro de 2021.

porcentagem importante nas emissões totais de CO₂, e boa parte está relacionada ao transporte de materiais de construção (Santos, 2012, p. 8).

A geração de resíduos tem se apresentado como um problema desafiador, por produzir um imenso volume de materiais todos os dias nas cidades, provenientes de construções, reformas, demolições, e resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Portanto, uma construção de uma edificação traz consigo impactos no início do processo (entradas), e durante o ciclo de vida e uso da edificação. Também existem os impactos como a geração de CO₂, produção de resíduos, poluição sonora e degradação ambiental (saídas).

Além disso, o setor contribui de forma direta para as mudanças climáticas, seja nos locais onde se extraem os recursos naturais para a fabricação dos materiais ou nas cidades, através de processos como a impermeabilização do solo, formação de ilhas de calor, poluição dos recursos hídricos, etc. Buscando uma diminuição desses impactos, estratégias têm sido desenvolvidas com o objetivo de promover sociedades que possuam uma relação mais harmônica com o meio ambiente, com mais qualidade de vida e que contribua para a existência de um futuro saudável para as próximas gerações.

Algumas das estratégias com o intuito de atestar e incentivar as estratégias de minimização dos impactos da construção civil ao meio ambiente, que vêm sendo aplicadas nas edificações, são os selos de certificações ambientais. Os selos incentivam a adoção de práticas sustentáveis, como a escolha de materiais de construção de baixo impacto ambiental, o projeto de sistemas eficientes de energia e água, a consideração do transporte público e a criação de espaços internos saudáveis para os ocupantes.

Apesar dos pontos positivos a respeito do discurso ambiental na construção civil, é preciso ponderar a forma com que o mercado tem tratado esse assunto, visto que, em diferentes ocasiões, já foi observada a cooptação desse debate com a finalidade de agregar valor aos produtos e comercializá-los sob uma determinada bandeira. De acordo com Brand e Wissen (2021), o debate

da sustentabilidade e o impacto ao meio ambiente vem sendo incorporado a um conjunto de soluções com o nome de —economia verde—, que buscam adaptar as contradições do modelo capitalista às discussões, propondo uma suposta modernização dos processos.

O Estado estabelece as regras para um mercado supostamente eficiente e age contra seus piores excessos e crises, as chamadas —falhas de mercado—. Supõe-se, explícita ou implicitamente, que é possível reduzir o consumo de recursos e a pressão sobre os sumidouros sem desafiar o modo de vida imperial, a economia política do capitalismo ou as relações sociais das forças que o sustentam (Brand e Wissen, 2021, p. 233-234).

Neste contexto, a sustentabilidade passa a se consolidar como um ativo financeiro que é visado pelas empresas para atribuir mais valor ao seu produto, por vezes, por meio de práticas que fogem ao olhar da sociedade. Um mecanismo para atingir este objetivo são as falsas alegações, visto que uma edificação pode receber certificações sustentáveis com base em informações imprecisas ou exageradas sobre seu desempenho ambiental ou práticas sustentáveis. Outro mecanismo é a ênfase em aspectos superficiais, pois os aspectos visuais da sustentabilidade são evidenciados ao passo que questões mais estruturais são negligenciadas.

Alguns projetos podem ainda tentar compensar suas deficiências em áreas específicas, através de melhorias aparentemente significativas em outros aspectos. Embora seja válido buscar um equilíbrio entre diferentes critérios de certificação, o uso excessivo de compensações pode mascarar problemas reais e levar a uma percepção equivocada da verdadeira sustentabilidade do projeto. Um exemplo dessa contradição são materiais e tecnologias que são rotulados como sustentáveis, mas que têm em determinados pontos de sua cadeia produtiva algum significativo impacto ambiental negativo.

Sem uma redução significativa do consumo de energia, a externalização de seus custos socioecológicos seria simplesmente deslocada para outros campos: de combustíveis fósseis — cujo uso ainda é ferozmente defendido — e sumidouros de CO² para metais como

cobre e minerais raros, que são extraídos principalmente de depósitos no Sul global e incorporados à infraestrutura de energia renovável do Norte (Exner *et al.*, 2016b) (Brand e Wissen, 2021, p. 247).

Em ambas questões levantadas acontece o que vem sendo chamado de *greenwashing*, termo utilizado para descrever a apropriação de discursos sustentáveis de forma indevida, uma maquiagem verde sobre os problemas ambientais. Esse tipo de ação é amplamente observado em diferentes campos da economia e, na construção civil, acaba colocando em xeque a confiança do público em relação às iniciativas de sustentabilidade na construção civil. Fato que exige uma vigilância rigorosa por parte das autoridades certificadoras para evitar distorções enganosas.

Um indicador importante para aferir os impactos de um produto ou empreendimento em um país é a pegada material que, de acordo com Brand e Wissen (2021), é —a diferença entre os equivalentes de recursos de suas importações somados à extração de recursos nativos e os equivalentes de recursos de suas exportações—. Ademais, em uma análise desse medidor, é possível concluir que em muitas situações o que acontece é uma externalização dos problemas ambientais de um determinado lugar, geralmente mais desenvolvido, para outras localidades.

2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise histórica da evolução da consciência ambiental no campo da construção civil apresentada ao longo deste trabalho, foi possível acompanhar a evolução da introdução e discussão do tema no setor. Esse processo, apesar de ser recente, exige que a adoção de estratégias de minimização dos impactos ambientais seja considerada em todas as etapas do processo. Além do mais, atualmente, existe um enorme repertório de técnicas que podem ser utilizadas em diferentes formas e situações. Não há um modelo exato para se alcançar o equilíbrio com o meio ambiente, cada obra deve ser pensada de forma única, pois o local onde ela será implantada deve ter influência nas escolhas projetuais dos profissionais responsáveis por sua idealização.

As soluções devem estar presentes desde a concepção de novos empreendimentos, mas também podem ser adicionadas nas preexistências através de melhorias e reformas. Existe uma diversidade enorme de possibilidades para a escolha dos materiais que formarão um edifício, todas elas com seus pontos positivos e negativos que devem ser avaliados por quem toma as decisões no planejamento e na execução de uma obra.

O entendimento do ambiente físico, considerando o clima, o entorno e a orientação solar, é fundamental para que uma edificação seja bem-sucedida. A utilização de materiais e tecnologias adequadas representa uma redução do consumo energético, o que pode ser potencializado com o uso de equipamentos energeticamente eficientes e dispositivos economizadores. O manejo correto da água é essencial de ser pensado no cenário atual, já que frequentemente os reservatórios de água de diferentes regiões do país enfrentam momentos de escassez.

Além disso, a criação e aplicação de regulamentações rigorosas exigem a implementação de medidas que poupem o meio ambiente de impactos severos. Isso inclui a promoção de práticas sustentáveis em setores industriais, a fiscalização efetiva para garantir o cumprimento das normas ambientais e o incentivo à adoção de tecnologias limpas. A busca por alternativas renováveis e a promoção da economia circular também desempenham um papel crucial nesse contexto, proporcionando não apenas a redução de danos ambientais, mas também impulsionando a inovação e a criação de empregos voltados para atividades sustentáveis. A colaboração entre governos, empresas e a sociedade civil é fundamental para alcançar um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental, visando um futuro mais sustentável e resiliente.

REFERÊNCIAS

ASCELRAD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. **Revista brasileira de estudos urbanos e regionais**, (1), 1999.

BRAND, U.; WISSEN, M. **Modo de vida imperial. Sobre a exploração dos seres humanos e da natureza no capitalismo global**. 2021.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasil, 1988. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acessado em: 16 de outubro de 2021.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO: NOSSO FUTURO COMUM. 2ª ed. Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1991.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CO-NAMA Nº 001/1986 - **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental**. Data da legislação: 23/01/1986 - Publicação DOU, de 17/02/1986, págs. 2548-2549.

CZAPSKI, S. **A implantação da educação ambiental no Brasil**. Brasília - DF, 1998.

MARCATTO, C. **Educação ambiental: conceitos e princípios**. Belo Horizonte: FEAM, 2002.

PEREIRA, A. G. **Técnicas de construção**. Brasil, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Brasília, 2007.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. De. **Metodologia do Trabalho Científico. Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª Ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SANTOS, S. S. **Arquitetura e gestão ambiental: Um projeto como instrumento para a promoção da sustentabilidade**. Monografia. São Caetano do Sul, 2012.

SCHERER-WARREN, I. **Das mobilizações às redes de movimentos sociais**. Sociedade e Estado, Brasília, v. 21, n. 1. p. 109-130, 2006.

CAPÍTULO 2

ACREDITAÇÕES HOSPITALARES E CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS: UM PARALELO ENTRE A GARANTIA DE QUALIDADE E A SUSTENTABILIDADE

Maria Eduarda da Costa Alves

A saúde é um bem inestimável e essencial na vida de qualquer indivíduo, e a busca por serviços hospitalares de qualidade tornou-se uma prioridade global. Instituições hospitalares têm a missão primordial de oferecer atendimento adequado e eficiente aos pacientes, garantindo a integração harmônica entre diversas áreas como medicina, tecnologia, administração, assistência e pesquisa. Para cumprir essa missão, os hospitais devem buscar constantemente a melhoria da gestão e da qualidade da assistência, proporcionando um ambiente que inspire confiança e promova a recuperação e bem-estar dos pacientes.

A história da busca pela excelência nos serviços de saúde está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento de creditações hospitalares e certificações ambientais da construção civil. Em um contexto mundial, a conscientização sobre a necessidade de padrões elevados de atendimento levou à criação de sistemas de acreditação que visam avaliar e reconhecer a qualidade dos serviços hospitalares; enquanto a necessidade de criar ambientes sustentáveis e ecologicamente adequados levou ao reconhecimento dessas medidas através das certificações ambientais.

As iniciativas de creditações tiveram origem em meados do século XX, e encontraram terreno fértil em um cenário de avanços tecnológicos, aumento da demanda por assistência médica e a crescente importância da segurança do paciente. O movimento em direção à creditação hospitalar iniciou com a necessidade de avaliação de hospitais, ainda no século XX, a partir da formação do Colégio Americano de Cirurgiões (CAC), que estabeleceu o Programa de Padronização Hospitalar (PPH) (Coale *et. al.*, 1987).

Em 1918, foi realizada a primeira avaliação de hospitais nos Estados Unidos. Apesar das contínuas avaliações e atualizações do Manual de Padronização do CAC, o Colégio Americano de Cirurgiões passou a ter dificuldade em mantê-lo devidamente atualizado, devido aos custos de manutenção e à crescente sofisticação dos equipamentos e espaços. Ademais, há a complexidade em avaliar especialidades não cirúrgicas, sendo necessário iniciar parcerias com outras associações médicas, clínicas e hospitalares, além de organizações dedicadas à promoção da creditação hospitalar de maneira exclusiva.

À medida que a compreensão sobre a importância da gestão de qualidade e segurança do paciente se expandiu, organizações como a Joint Commission International (JCI) e a International Organization for Standardization (ISO) surgiram como pioneiras na definição de padrões e diretrizes para a excelência hospitalar. No Brasil, esse movimento ganhou força com o lançamento do Programa Brasileiro de Acreditação Hospitalar (PBAH) e, posteriormente, com o Programa de Acreditação Hospitalar do Ministério da Saúde, até a criação da Organização Nacional de Acreditação (ONA), em maio de 1999. Essas iniciativas refletem o compromisso do país em garantir que os hospitais ofereçam serviços de qualidade em sintonia com os padrões internacionais.

As creditações buscam não apenas elevar os padrões de atendimento, mas também melhorar a eficiência operacional e a experiência do paciente. A necessidade de uma abordagem multidimensional na avaliação hospitalar - que abrange desde a excelência clínica até a sustentabilidade ambiental - levou também à incorporação de certificações como o Leed (Leadership in Energy and Environmental Design), que enfatiza práticas construtivas e

operacionais sustentáveis à avaliação de estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS).

Paralelamente à criação das creditações hospitalares, nas últimas décadas do século XX, a temática da sustentabilidade na construção civil passa a ganhar destaque nas discussões da indústria. O aumento da conscientização ambiental global e as preocupações com as mudanças climáticas foram fatores-chave que impulsionaram a busca por práticas mais sustentáveis na construção civil.

A Conferência de Estocolmo, em 1972, foi um dos primeiros eventos internacionais a colocar a questão ambiental na agenda global. Embora não tenha se concentrado especificamente na construção civil, ela estabeleceu as bases para uma maior consciência ambiental. Alguns anos depois, em 1987, o relatório —Nosso Futuro Comum—, conhecido como Relatório Brundtland, introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável. Esse documento definiu o desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades. Entre os anos 90 e 2000 iniciou-se a implementação de certificações ambientais, como o Leed nos Estados Unidos e o Breeam no Reino Unido.

O aumento da conscientização sobre as mudanças climáticas, nas primeiras décadas do século XXI, intensificou ainda mais o foco na sustentabilidade na construção civil. A busca por eficiência energética, redução de emissões de carbono e práticas construtivas mais responsáveis tornou-se uma prioridade. Desta forma, diversos outros países passaram a adotar práticas mais sustentáveis, inclusive na construção civil, uma das grandes geradoras de resíduos na atualidade.

A construção civil tem um impacto significativo no meio ambiente em termos de poluição, geração de resíduos, consumo de energia e emissão de carbono. De acordo com o Relatório de Situação Global 2020 para Edifícios e Construção, da Aliança Global para Edifícios e Construção, o setor é responsável por 38% de todas as emissões de CO2 relacionadas à energia; e as

emissões diretas de CO₂ dos edifícios precisam ser reduzidas pela metade até 2030, para encaminhar o setor para a neutralidade climática até 2050.

Desse modo, o incentivo à pesquisa e o desenvolvimento de novos materiais de construção sustentáveis e tecnologias inovadoras estão em andamento para reduzir a pegada ambiental da construção civil. Como forma de reconhecimento e incentivo há uma crescente adoção de práticas mais sustentáveis através das certificações ambientais, que incentivam a construção de edifícios mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

Os hospitais representam uma parcela significativa do impacto ambiental associado à construção civil, visto que possuem uma infraestrutura complexa, frequentemente envolvendo grande consumo de materiais de construção, água, energia elétrica e outros recursos. Equipamentos médicos, sistemas de climatização, iluminação e outros sistemas exigem uma quantidade substancial de energia durante a construção e operação do hospital. A construção e operação de hospitais geram uma quantidade significativa de resíduos, que incluem não apenas os resíduos da construção em si, mas também resíduos hospitalares. O equilíbrio entre a necessidade crítica de oferecer serviços de saúde de qualidade, enquanto mantém a responsabilidade ambiental, é um desafio importante enfrentado pela indústria de saúde e pela construção civil.

Neste texto, pretende-se fazer uma revisão bibliográfica acerca dos programas de acreditação e certificação existentes, a fim de evidenciar as principais características destes sistemas, os benefícios e desafios relacionados à obtenção e manutenção destes títulos. Além disso, busca-se propor uma reflexão sobre a intenção por trás da promoção e obtenção desses selos.

Este trabalho está estruturado em introdução da pesquisa, conceituação da acreditação em saúde, conceito de certificação ambiental, desenvolvimento histórico, o papel dos selos e creditações e, por fim, a conclusão. Através de revisões bibliográficas busca-se entender quais são as problemáticas por trás das creditações hospitalares e certificações ambientais, para além dos diversos benefícios já conhecidos.

1. CONCEITO DE ACREDITAÇÃO EM SAÚDE

A acreditação em saúde é um processo voluntário de avaliação externa, pelo qual uma organização ou estabelecimento assistencial de saúde, como hospitais, clínicas, consultórios, planos de saúde etc., é avaliada por pares externos, independentes (Brubbak *et al.*, 2015) e reconhecidos para determinar se ela atende aos padrões de qualidade pré-estabelecidos. Dessa forma, visando a melhoria da qualidade de um EAS.

Os padrões de avaliação abrangem uma ampla gama de áreas, desde a avaliação das práticas clínicas e segurança do paciente, até a gestão, infraestrutura ou até mesmo considerações ambientais referentes à edificação. A acreditação envolve uma avaliação rigorosa de processos, políticas e práticas de uma organização, a fim de garantir que ela atenda aos mais altos padrões de excelência a partir de critérios padronizados. As creditações têm caráter educativo e avaliativo, não sendo utilizadas com intenção de fiscalizar ou punir uma instituição (Caldana, 2017). Existem diversos programas de avaliação contínua, adaptados à realidade em que estão inseridos, seja nos critérios, seja na realidade sociocultural.

2. CONCEITO DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL

Os sistemas de avaliação ambiental baseiam-se em indicadores de desempenho, que pontuam de forma técnica o grau de atendimento a determinados requisitos, normalmente relacionados aos aspectos construtivos, climáticos e ambientais. Assim, levando em conta a construção, o descarte de resíduos, a relação da edificação com o entorno e com o ambiente em que está inserida (Leite, 2011).

Cada certificação possui seus níveis e requisitos específicos, mas que de maneira geral convergem para ponderações semelhantes. A título de exemplo, os incômodos e impactos no meio urbano, quais são os materiais utilizados, quais são os resíduos gerados, de que maneira é realizada a gestão e descarte destes resíduos, quais sistemas de economia do consumo de água

são adotados; além de análises de consumo energético e emissões atmosféricas, qualidade do ar interno, entre vários outros aspectos.

Cada vez mais os países criam seus sistemas próprios de certificação ambiental, relacionados diretamente com a forma construtiva local e peculiaridades regionais. Embora a prática seja recente e crescente, alguns selos já são conhecidos e estabelecidos em diversos países, adaptando seus requisitos para cada realidade, como por exemplo, o Breeam (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), do Reino Unido, que possui o maior número de certificações no mundo; e o Leed (Leadership in Energy and Environmental Design), dos Estados Unidos.

Os dois sistemas de certificação ambiental mais utilizados no Brasil são o Leed, realizado pelo Green Building Council, e o Aqua (Alta Qualidade Ambiental), baseado no HQE (Haute Qualité Environnementale – certificação francesa), e realizado pela Fundação Vanzolini. Também em destaque no país são o Selo Casa Azul, criado pelo Governo Federal e a Ence (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia), uma certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), focada na eficiência energética de edificações;

3. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

Florence Nightingale é considerada por diversos autores como uma das pioneiras na melhoria do atendimento e qualidade de saúde, ao criar métodos humanizados e eficazes que reduziram a taxa de mortalidade entre os soldados em 40% no período de seis meses, durante a guerra da Crimeia. Antes mesmo que qualquer programa de acreditação fosse implementado, ou sequer desenvolvido, diversos profissionais da saúde contribuíram com ideias e avanços na assepsia, atendimento humanizado, redução de infecções hospitalares e taxas de mortalidade. Todos tiveram contribuições significativas tanto para a medicina e o cuidado com o paciente quanto para a criação de posteriores programas de avaliação e acreditação do cuidado com a saúde.

Ernest A. Codman (1969-1940) foi um proeminente cirurgião e pioneiro no desenvolvimento de ideias de qualidade e melhoria contínua dos cuidados de saúde. Em 1912, foi realizado o –Clinical Congress of Surgeons of North America–, e neste congresso Codman apresentou a ideia de que os resultados clínicos dos pacientes deveriam ser registrados e acompanhados ao longo do tempo, de modo a permitir que os cirurgiões pudessem avaliar a eficácia e qualidade dos cuidados prestados. Sua apresentação, intitulada –A Ideia de Resultados Finais na Administração Hospitalar–, destacava a importância do rastreamento do progresso do paciente, desde o início do tratamento até o final, independente do resultado obtido. O cirurgião acreditava que essa abordagem permitiria identificar práticas médicas eficazes ou ineficazes, melhorando assim, a qualidade da assistência hospitalar, e ficou conhecido por essas contribuições para a promoção da transparência e responsabilidade médica.

Sua apresentação teve um impacto tão profundo que levou à criação do Comitê de Padronização de Cirurgias, que mais tarde se transformou no comitê organizador do Colégio Americano de Cirurgiões (CAC), que foi efetivamente estabelecido em 1913, em Chicago, onde se iniciaram os trabalhos para a criação de padrões e critérios avaliativos da prática cirúrgica e da qualidade dos hospitais. Um dos marcos na promoção da melhoria da qualidade nos cuidados de saúde e na instituição de padrões mais rigorosos para a prática cirúrgica foi o Padrão de Eficiência, documento publicado em 1918 pelo CAC. Nesse documento foi estabelecido uma série de padrões e critérios para garantir a qualidade dos serviços prestados, abrangendo áreas como as instalações, equipe médica, segurança do paciente, registros médicos, entre outros, que até hoje são critérios avaliados na obtenção de creditações.

Com o aumento na quantidade de estabelecimentos assistenciais de saúde, e com a necessidade de avaliação de EAS não-cirúrgicas, o CAC juntou-se a outras organizações para formar a “Joint Commission on Accreditation of Hospitals” (JCAH). Tal organização, mais tarde (1987), tornou-se a “Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations” (JCAHO) e, posteriormente, a Joint Commission, como é conhecida atualmente.

Para atender à demanda de avaliação de novos hospitais e para criar um processo mais abrangente de acreditação, o CAC uniu-se a outras organizações médicas e de saúde. A formação da JCAH, em 1951, foi uma resposta direta a essa necessidade. Ao se juntarem, essas instituições buscaram criar um sistema mais abrangente e robusto de acreditação hospitalar, que não apenas abordasse a eficiência clínica, mas também abrangesse outras áreas críticas de cuidados de saúde, incluindo governança, segurança do paciente, infraestrutura e gestão. O Padrão de Eficiência que foi criado pelo CAC, em 1918, evoluiu então para o Programa de Acreditação Hospitalar como parte da JCAH. Essa mudança de nome refletiu uma mudança de foco: de avaliar, principalmente, a eficiência clínica para avaliar a qualidade abrangente dos hospitais em várias áreas-chave.

Paralelamente, em outras partes do mundo, durante esse período, também havia um interesse crescente na avaliação e acreditação hospitalar. No Reino Unido, por exemplo, o sistema de acreditação do Programa de Acreditação Hospitalar serviu de inspiração para a criação do Serviço Nacional de Saúde (NHS) em 1948, que estabeleceu padrões de qualidade e segurança para os hospitais britânicos. Além disso, no Canadá organizou-se, em 1958, o programa de Acreditação do Canadá, um órgão que ainda existe e é considerado o segundo do mundo a realizar esse tipo de acreditação (Chuang, Howley & Gonzales, 2019).

Em geral, as décadas de 1950 a 1980 representam um período de expansão e amadurecimento das iniciativas de acreditação hospitalar nos Estados Unidos e em outras partes do mundo. O reconhecimento da importância de garantir padrões elevados de atendimento, segurança do paciente e eficiência operacional levou à colaboração entre várias instituições e à criação de sistemas mais abrangentes de avaliação e acreditação. Essas iniciativas continuaram a evoluir ao longo das décadas seguintes, refletindo o compromisso contínuo com a qualidade nos cuidados de saúde.

Enquanto o debate acerca do desempenho e da qualidade do serviço prestado remonta do início do século XX, a temática da sustentabilidade e da certificação ambiental aproxima-se mais do final do século, a partir da

Conferência de Estocolmo, em 1972, e do Relatório de Brundtland, de 1987. A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, de 1992, também conhecida como Rio-92 ou Cúpula da Terra, destacou a importância da integração entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental. Os debates sobre a sustentabilidade se intensificaram, influenciando diversas indústrias, incluindo a construção civil.

O desenvolvimento do Leed começou em 1993, liderado pelo cientista sênior do Conselho de Defesa dos Recursos Naturais (NRDC), Robert K. Watson. Três anos depois foi lançada a primeira proposta do sistema, vindo a ser publicada somente em 1999, na Convenção USGBC Membership Summit. Após isso, o Leed foi se especificando, criando manuais e diretrizes de avaliação para construções novas, comerciais, existentes, de ensino, de saúde etc. De acordo com dados da USGBC, de 2019, existiam, aproximadamente, 83.452 projetos Leed registrados e certificados, em todo o mundo.

4. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO NO BRASIL

Os processos de avaliação e acreditação hospitalares no Brasil iniciaram de maneira preliminar ainda em 1941, a Divisão de Organização Hospitalar criou normas para a instalação, organização e funcionamento dos hospitais (Schiesari; Kisi, 2003). Mas é apenas na década de 1990, que os processos de avaliação realmente passam a surgir no Brasil, com o lançamento do Programa Brasileiro de Acreditação Hospitalar (PBAH) em 1994, pela Sociedade Brasileira de Análises Clínicas (SBAC) e pela Associação Médica Brasileira (AMB). O PBAH tinha o objetivo principal de promover a melhoria da qualidade dos serviços de saúde e incentivar os hospitais a adotarem boas práticas de gestão e assistência.

Já em 1997, o Ministério da Saúde lança o Programa de Acreditação Hospitalar do Ministério da Saúde (PAHMS), desenvolvido de forma colaborativa com diversas instituições, e tinha como foco a avaliação da qualidade dos serviços prestados. A Organização Nacional de Acreditação (ONA), fundada dois anos após, em 1999, tornou-se referência nacional no estabelecimento de padrões e critérios de avaliação da qualidade dos serviços de saúde, bus-

cando não apenas a melhoria da assistência, mas também com o intuito de aumentar a segurança do paciente e a eficiência operacional.

A primeira certificação ambiental criada no Brasil foi o selo Aqua (Alta Qualidade Ambiental), desenvolvido pela Fundação Vanzolini. O Aqua foi lançado em 2008, tornando-se a primeira certificação brasileira a focar especificamente na qualidade ambiental de edificações. De acordo com a Fundação Vanzolini (2015), o selo visa a construção sustentável, e sua criação é baseada na certificação francesa (HQE), de forma a respeitar os moldes tradicionais de sua origem e unir características nacionais, como o clima, cultura e normas técnicas. Essa certificação é dividida em setores de avaliação, como também propõe o Leed, separando por tipologia, mas também por zona geográfica. Ele possuiu 14 subcategorias de pontos de análise, reunidas em 4 categorias, que são: eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde (Fundação Vanzolini, 2022).

Após o lançamento do Aqua, outros selos e certificações ambientais foram desenvolvidos no Brasil, abrangendo diferentes aspectos da construção sustentável. O Selo Casa Azul, criado pelo Governo Federal em 2009, é outro exemplo relevante. Essa certificação visa promover a sustentabilidade em diversos tipos de edificações, incluindo residenciais, comerciais e industriais.

Quadro 1 – Linha do Tempo Acreditações e Certificações

| ANO | ACREDITAÇÕES HOSPITALARES | CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS |
|---------------|--|--|
| 1853 | Florence Nightingale ajuda a reduzir a taxa de mortalidade entre os soldados em 40% no período de seis meses, durante a guerra da Crimeia. | |
| 1912 | Realizado o –Clinical Congress of Surgeons of North America–, onde Ernest A. Codman apresenta a ideia de que os resultados clínicos dos pacientes deveriam ser registrados e acompanhados ao longo do tempo. | |
| 1913 | Criação do CAC (Colégio Americano de Cirurgiões), onde se iniciaram os trabalhos para a criação de padrões e critérios avaliativos da prática cirúrgica e da qualidade dos hospitais. | |
| 1918 | Publicado pelo CAC o –Padrão de Eficiência– padrões e critérios, que até hoje são critérios avaliados na obtenção de creditações. | |
| 1941 | No Brasil a Divisão de Organização Hospitalar criou normas para a instalação, organização e funcionamento dos hospitais. | |
| 1947/ 1948 | Criação do Serviço Nacional de Saúde (NHS) do Reino Unido. | Criação da Organização Internacional de Normalização (ISO) no Reino Unido. |
| 1972 | | Conferência de Estocolmo, a primeira grande reunião de chefes de Estado para tratar sobre a degradação do meio ambiente. |
| 1987 | Criação da Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations. | Relatório de Brundtland, que falava sobre a incompatibilidade entre o desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo. |
| 1988 | | Criação do Selo Breeam, no Reino Unido. É o selo mais antigo e ainda um dos mais requisitados. |
| 1990 | Criação do SUS no Brasil. | |
| 1992 | | A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio-92 ou Cúpula da Terra, destacou a importância da integração entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental. |

Continua-->

| ANO | ACREDITAÇÕES HOSPITALARES | CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS |
|---------------|---|---|
| 1993/ 1994 | Lançamento do Programa Brasileiro de Acreditação Hospitalar (PBAH) pela Sociedade Brasileira de Análises Clínicas (SBAC) e pela Associação Médica Brasileira (AMB). | Desenvolvimento do Leed, liderado pelo cientista sênior do Conselho de Defesa dos Recursos Naturais (NRDC), Robert K. Watson. |
| 1997 | O Ministério da Saúde lança o Programa de Acreditação Hospitalar do Ministério da Saúde (PAHMS), tinha como foco a avaliação da qualidade dos serviços prestados. | |
| 1999 | Fundação da Organização Nacional de Acreditação (ONA), que se tornou referência nacional no estabelecimento de padrões e critérios de avaliação da qualidade dos serviços de saúde. | Lançada a primeira proposta do Leed, publicada na Convenção USGBC Membership Summit. |
| 2008 | | Criada a primeira certificação ambiental do Brasil, o selo Aqua (Alta Qualidade Ambiental), desenvolvido pela Fundação Vanzolini. A primeira certificação brasileira a focar especificamente na qualidade ambiental de edificações. |
| 2009 | | Lançamento do Selo Casa Azul, criado pelo Governo Federal. Essa certificação visa promover a sustentabilidade em diversos tipos de edificações, incluindo residenciais, comerciais e industriais. |

Fonte: Elaborada pela autora, com base na bibliografia apresentada.

5. RELEVÂNCIA E O PAPEL DAS ACREDITAÇÕES E CERTIFICAÇÕES

Conforme mencionado anteriormente, a acreditação em saúde é um processo voluntário de avaliação através de órgãos independentes e reconhecidos para determinar se um estabelecimento atende aos padrões de qualidade pré-estabelecidos. A necessidade de uma abordagem multidimensional na avaliação hospitalar leva à incorporação não somente de creditações, mas também de selos e certificações ambientais, enfatizando a necessidade de práticas construtivas e operacionais sustentáveis. Desta forma, as certificações são processos semelhantes aos de acreditação, no entanto, concentram-se em critérios mais específicos de atuação dentro de uma organização. Atualmente, as creditações e certificações mais reconhecidas são:

1. Joint Commission International (JCI): é uma das organizações mais proeminentes no campo da acreditação em saúde, e define a acreditação como um processo pelo qual um órgão independente concede reconhecimento público a uma organização para demonstrar conformidade com critérios específicos.
2. International Organization for Standardization (ISO): é uma organização internacional de padronização, é definida como a demonstração formal de que uma entidade é competente para realizar tarefas específicas.
3. Organização Nacional de Acreditação (ONA): é responsável pela acreditação de serviços de saúde no Brasil, e define a acreditação como –um sistema de avaliação e certificação da qualidade de serviços de saúde, que busca constantemente a excelência na assistência por meio da melhoria contínua dos serviços prestados”.
4. Leadership in Energy and Environmental Design (Leed): desenvolvida pelo U.S. Green Building Council (USGBC), tem foco na sustentabilidade de edifícios, e é aplicável inclusive a edifícios de saúde em todo o mundo.
5. Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Breeam): similar ao Leed, o Breeam também avalia a sustentabilidade de edifícios, podendo ser aplicado à EAS, é mais comum na Europa.
6. Alta Qualidade Ambiental (Aqua): é um selo de qualidade ambiental para edifícios desenvolvidos no Brasil. Tem como objetivo promover a construção sustentável e reduzir o impacto ambiental das edificações. É específica para o contexto nacional, sendo amplamente reconhecida como referência de qualidade ambiental na construção civil.

No Brasil, estima-se que menos de 5% dos hospitais possuam o certificado de acreditação nacional (ONA, 2013). Apesar dos diversos potenciais gerados pelas creditações, como a melhoria do gerenciamento da organização hospitalar e da qualidade da assistência (Chen *et al.*, 2003; El-Jardali *et al.*, 2008; Figueiredo, 2012); além do reconhecimento público ao hospital acreditado através de divulgações e marketings positivos (Feldman *et al.*, 2005), alguns estudos apontam a falta de evidência empírica para estabelecer uma relação entre a acreditação hospitalar e a melhoria efetiva das práticas clínicas (Greenfield *et al.*, 2012).

O esforço necessário para a sistematização e avaliação constante dos estabelecimentos assistenciais de saúde pode gerar um aumento nas tarefas administrativas, o que pode se tornar uma fonte de resistência à acreditação (Mendes; Mirandola, 2015). Desta forma, apesar dos benefícios, as creditações também enfrentam críticas, uma vez que a busca excessiva por certificações pode levar à padronização em detrimento da inovação; além dos custos associados à implementação e manutenção das creditações, especialmente em EAS com recursos limitados, levantando ao questionamento se apenas instituições com recursos financeiros maiores poderiam receber este tipo de credencial. Uma vez que podem ser consideradas um indicador de qualidade, em casos de marketing estratégico de posicionamento de mercado, as creditações poderiam ser vistas inclusive como estratégias de greenwashing.

No contexto das creditações hospitalares, embora muitas possam ter a intenção genuína de promover práticas mais sustentáveis, outras podem obter certificações apenas para fins de marketing, levando a uma desconexão entre as promessas feitas pelas certificações e a realidade das operações. Os hospitais podem obter creditações para mostrar compromisso com a qualidade e segurança do paciente, mas não necessariamente implementar as mudanças necessárias (e constantes, não apenas no momento da avaliação) para garantir esses padrões.

Os parâmetros de avaliação utilizados nas instituições de saúde estabelecem padrões de comportamento, práticas e normas que estas devem seguir para atender aos critérios de qualidade, e isso pode criar um ambiente de conformidade onde as instituições são constantemente avaliadas e obser-

vadas, para a manutenção de seus títulos. Tal fiscalização, por sua vez, pode levar à padronização e homogeneização das práticas, mesmo que essa padronização comumente seja benéfica, levando à redução de falhas através de análises baseadas em evidências (Bogh *et al.*, 2016).

Da mesma forma que as certificações podem atuar como influenciadoras na opinião popular sobre um determinado serviço, esses sistemas não somente regulam o comportamento das instituições, mas influenciam profundamente a forma como a saúde e a assistência à saúde são percebidas em níveis sociais e coletivos. Dessa maneira, moldando a percepção pública sobre o que constitui de fato um ambiente seguro e saudável.

6. CONCLUSÃO

As creditações e certificações desempenham um papel fundamental na promoção da qualidade, segurança e sustentabilidade de ambientes hospitalares. Ao longo da história, elas tiveram um papel fundamental para moldar o setor da saúde, incentivando melhorias significativas nos padrões de atendimento e na infraestrutura hospitalar.

A constante evolução dos padrões de atendimento, avanços tecnológicos e as demandas crescentes dos pacientes, incentivou e segue incentivando o desenvolvimento e a implementação de creditações hospitalares em todo o mundo. No contexto brasileiro, essas creditações, apesar de ainda representarem uma pequena parcela, representam um esforço contínuo para elevar a qualidade dos serviços, aprimorar a gestão hospitalar e promover a excelência no cuidado com a saúde. No entanto, é importante reconhecer que o caminho em direção à melhoria contínua não está isento de desafios, sendo essencial considerá-los para garantir que essas certificações sejam, e continuem sendo, efetivamente, instrumentos eficazes de aprimoramento contínuo, sem sacrificar a inovação e a acessibilidade.

Embora essas iniciativas tenham o poder de promover a sustentabilidade e garantir a eficiência e qualidade dos serviços prestados, é imperativa a adoção de uma abordagem crítica e exigência de transparência e responsabilidade das empresas que buscam obter essas certificações, bem como

das empresas que fornecem as mesmas. Desta forma, a conscientização dos consumidores, a regulamentação adequada e a análise cuidadosa por trás das práticas, e intenções por trás das certificações, são importantes para evitar práticas de greenwashing e garantir que a busca por melhorias seja genuína, colaborativa e aplicada a todos, sem distinção monetária.

REFERÊNCIAS

BOGH SB, FALSTIE-JENSEN AM, HOLLNAGEL E, HOLST R, BRAITHWAITE J, JOHNSEN S P. **Improvement in quality of hospital care during accreditation: A nationwide stepped-wedge study.** Int. J Qual Health Care. 2016; 26(6):715-20.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Acreditação: a busca pela qualidade nos serviços de saúde.** Rev. Saúde Pública. 2004; 38(2):335-6

BRUBBAK K, VIST GE, BUKHOLM G, BARACH P, TJOMSLAND A. **Systematic review of hospital accreditation: the challenges of measuring complex intervention effects.** BMC Health Serv. Res. 2015; 15:280.

CALDANA G, GABRIEL CS. **Avaliação do programa de acreditação hospitalar validação de face e conteúdo.** Rev. Bras. Enferm. 2017;70(1):47-53.

CERTIFICAÇÃO AQUA. CTE. Disponível em: <<https://cte.com.br/blog/sustentabilidade/certificacao-aqua/>>. Acesso em: 16/08/2023.

CHEN, J., RATHORE, S. S., RADFORD, M. J., & KRUMHOLZ, H. M. (2003). **JCAHO accreditation and quality of care for acute myocardial infarction.** Health Affairs, 22(2), 243-254.

CHUANG S, HOWLEY PH, GONZALES SS. **An international systems-theoretic comparison of hospital accreditation: developing an implementation typology.** Int. J Qual Health Care. 2019;31(5):371-7.

EL-JARDALI, F., JAMAL, D., DIMASSI, H., AMMAR, W., & TCHAGH-CHAGHIAN, V. (2008). **The impact of hospital accreditation on**

quality of care: perception of Lebanese nurses. International Journal for Quality in Health Care, 20(5), 363-371.

FELDMAN, L. B., GATTO, M. A. F., & CUNHA, I. C. K. O. (2005). **História da evolução da qualidade hospitalar: dos padrões a acreditação.** Revista Acta Paulista de Enfermagem, 18(2), 213-219.

FIGUEIREDO, K. F. (2012). **Panorama de Acreditação Hospitalar no Brasil 2009-2011.** Rio de Janeiro: Centro de Estudos em Gestão de Serviços de Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Relatório de Pesquisa.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA (2022).** Disponível em <<https://vanzolini.org.br/blog/certificacao/sustentabilidade-certificacao-aqua>>. Acesso em: 16 nov. 2023.

GREENFIELD, D., PAWSEY, M., HINCHCLIFF, R., MOLDOVAN, M., & BRAITHWAITE, J. (2012). **The standard of healthcare accreditation standards: a review of empirical research underpinning their development and impact.** BMC Health Services Research, 12(1), 329.

LEITE, V. F. **Certificação ambiental na construção civil sistemas LEED e AQUA.** Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

MENDES, G. H. DE S., & MIRANDOLA, T. B. DE S. (2015). **Acreditação hospitalar como estratégia de melhoria: impactos em seis hospitais acreditados.** Gestão & Produção, 22(3), 636–648.

O QUE É A CERTIFICAÇÃO LEED. USGBC. Disponível em: <<https://support.usgbc.org/hc/en-us/articles/4404406912403-What-is-LEED-certification-#LEED>>. Acesso em: 15/08/2023.

O QUE É BREEAM. The NBS. Disponível em: <<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-breeam>>. Acesso em: 15/08/2023.

O QUE FAZEMOS. **ISO.** Disponível em: <<https://www.iso.org/what-we-do.html>>. Acesso em: 15/08/2023.

Organização Nacional de Acreditação – ONA. (2013). **Manual das organizações prestadoras de serviços hospitalares.** Recuperado em 1 de dezembro de 2013.

QUEM SOMOS. **Joint Comission International**. Disponível em: <<https://www.jointcommissioninternational.org/who-we-are/>>. Acesso em: 15/08/2023.

ROBERTS JC, COALE JG, REDMAN MA. **A history of the joint commission of accreditation of hospitals**. JAMA 1987; 258(7):936-40.

SCHIESARI LMC, KISIL MA. **Avaliação da qualidade nos hospitais brasileiros**. Rev. Adm. Saúde. 2003;5(18):7-17.

CAPÍTULO 3

INOVAÇÕES EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS: UMA PERSPECTIVA DA NANOTECNOLOGIA E BIOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Larisse Correia de Sousa Bressan

As alterações climáticas ocasionadas pela ação humana configuram um grande obstáculo a ser transposto pelos profissionais do nosso tempo. O setor da construção civil é atualmente um dos maiores causadores de impactos ambientais, consome 75% dos recursos naturais extraídos, gera 80 milhões de toneladas de resíduos por ano e, devido à queima de combustíveis fósseis, sua cadeia produtiva contribui de forma significativa para a emissão de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂) (Neto, 2013).

Engenheiros e arquitetos estão em busca de soluções que possam minimizar os impactos ao ambiente e fomentar o desenvolvimento do setor. Entre os grandes desafios sociais da atualidade, os de importância crítica são as alterações climáticas, a resiliência das infraestruturas e a recuperação de recursos provenientes de resíduos (DeJong *et al.*, 2011).

Há um anseio global por desenvolvimento com menor impacto ambiental, que somente pode ser respondido com pensamentos inovadores e multidisciplinares. Nesse contexto, as tecnologias emergentes baseadas na biotecnologia e nanotecnologia se apresentam como ciências com grande potencial para moldar o futuro dos setores econômicos, de acordo com Almeida *et al.* (2011).

O Quadro 1 demonstra as inovações que estão em curso por meio da utilização dessas novas tecnologias na construção civil.

Quadro 1 - Inovações geradas pelo uso de novas tecnologias

| | |
|-----------------------|---|
| Tecnologia | Desenvolvimento de impacto no período 2010 - 2030 |
| Biotecnologia | Novos biomateriais; tratamento de resíduos sólidos e líquidos por processos biotecnológicos. |
| Nanotecnologia | Cimentos nanoestruturados; novos nanocompósitos para utilização estrutural; vidros e superfícies auto-limpantes; nanomateriais e nanorevestimentos para conforto térmico. |

Fonte: Almeida *et al.* (2011).

Na busca por compreender o panorama das novas tecnologias que regerão o futuro da construção civil, este texto discorre sobre a biotecnologia e a nanotecnologia aplicadas à construção civil, com foco no material cimento, tendo como pano de fundo os benefícios ambientais que tais inovações podem gerar.

Marcello (2018) considera o cimento um dos materiais mais utilizados na construção civil e o principal material de construção usado como aglomerante. A autora o define como

[...] uma mistura de compostos químicos de origem de rochas, tendo como principal item em sua composição o clínquer, podendo ser adicionados demais compostos minerais, tais como escória, gesso, argila pozolânica, calcário etc. Em contato com a água produz reação exotérmica de cristalização, ganhando assim a resistência mecânica— (Marcello, 2018, p.12).

Foram conduzidas duas buscas independentes no Google Acadêmico para identificar artigos pertinentes à temática da pesquisa. Na primeira busca, utilizaram-se as palavras-chave “eco-efficient construction” e “building materials”, resultando em 124 artigos. Na segunda busca, os termos empregados foram “biotechnology and nanotechnology” e “the future of civil construction”, resultando em 1.603 artigos.

Após a obtenção dos resultados das buscas, os artigos foram inicialmente filtrados com base em seus títulos e resumos. Foram eliminados os artigos que não abordavam materiais cimentícios. Durante essa etapa, foram considerados os seguintes critérios de inclusão: relevância para a temática da pesquisa, abordagem de tendências atuais, inovações, desafios e barreiras relacionadas à aplicação da nanotecnologia, biotecnologia e materiais ecoeficientes na construção civil. Dez artigos foram considerados os mais representativos e abrangentes dentro do conjunto de estudos analisados.

1. FUNDAMENTOS DA NANOTECNOLOGIA E BIOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

1.1. Definição de nanotecnologia e biotecnologia

A nanociência é uma grande área interdisciplinar do conhecimento que abrange várias áreas, tais como: química, física, biologia e computação, com aplicações em atividades como agricultura e medicina. Para Durán, Mattoso e Morais (2006), a nanotecnologia é a denominação para o conjunto de técnicas utilizadas na manipulação de átomos para a criação de novas estruturas em escala nanométrica.

A manipulação em nanoescala pode causar alterações surpreendentes nas propriedades dos materiais, gerando novas características, pois, nessa escala, os materiais podem exibir características diferentes das substâncias em escala micro ou macro. Durán, Mattoso e Morais (2006) citam exemplos e usos, tais como: novas propriedades mecânicas, materiais que se tornam mais resistentes, mais leves, mais elásticos; manifestar novas propriedades óticas que possibilitam o controle da cor da luz pela escolha seletiva do tamanho do nano objeto; e novas propriedades magnéticas que aperfeiçoam os usos na eletrônica, em computadores e nas telecomunicações.

A biotecnologia é o conjunto de procedimentos que envolvem a manipulação de organismos vivos para fabricar ou modificar produtos (Chen *et al.*, 2021). A nanotecnologia possibilita esse estudo em nanoescala e a nanobio-

tecnologia combina a engenharia à nanoescala com a biologia para manipular sistemas vivos ou construir materiais biologicamente inspirados a nível molecular (Neto, 2013).

Para Neto (2013) as nanopartículas (NPs) são estruturas minúsculas na escala nanométrica, proporcionando propriedades distintas devido ao seu tamanho diminuto. Manipuladas por técnicas de nanotecnologia, oferecem características inovadoras, como resistência aprimorada e propriedades magnéticas e ópticas.

Dentre as muitas aplicações, Dulley (2006) assinala que já existem insumos utilizando estruturas modificadas na nanoescala, implicando o encapsulamento do ingrediente ativo em uma espécie de minúsculo “envelope” ou “concha”. Isso inclui a possibilidade de controle das condições em que o princípio ativo deve ser liberado.

A alteração da geometria das moléculas pode modificar completamente as características dos materiais. Durán, Mattoso e Morais (2006) citam o exemplo do diamante e do grafite, que são organizações distintas de moléculas de carbono (C). Os nanotubos de carbono, por exemplo, são 100 vezes mais resistentes que o aço e seis vezes mais leves, sendo condutores ou super condutores elétricos. A nanotecnologia é capaz de conferir essas características a outros materiais (Neto, 2013).

1.2. Aplicações e benefícios potenciais na indústria de materiais de construção

Já existem diversos produtos no mercado que utilizam nanotecnologia, como tecidos resistentes a manchas e que não amassam, raquetes e bolas de tênis mais duráveis, capeamento de vidros e aplicações antierosão a metais, filtros de proteção solar, materiais para proteção contra raios ultravioleta, tratamento tópico de herpes e fungos, produtos para limpar materiais tóxicos, produtos cosméticos, aditivos de alimentos, sistemas de filtros para ar e água, geladeiras e máquinas de lavar roupa com ação antibactericida. May (2002) alerta para o fato de que a sociedade muitas vezes desconhece que

esses produtos foram alterados, pois não há regulamentação específica e, portanto, os produtos não são rotulados.

A construção civil é uma atividade humana muito importante para o bem estar da população e uma das atividades que mais gera desenvolvimento econômico. Nessa área do conhecimento, a nanotecnologia pode revolucionar, produzindo materiais mais leves, mais resistentes, diminuindo o uso de matéria prima e de energia (Durán; Mattoso; Morais, 2006).

Apesar dos muitos esforços em pesquisas de nanotecnologia na construção civil nos últimos anos, ainda há muito a ser feito. A expectativa é que surjam mais aplicações, uma nova geração de materiais com propriedades otimizadas, como resistência, durabilidade e baixo impacto ambiental (Neto, 2013).

Os materiais nano modificados mais promissores na área de construção civil são os nanotubos de carbono, revestimentos, concreto, telhas, tubos e conexões, esquadrias, película solar e tinta. O Quadro 2 apresenta as principais características e seus benefícios.

Quadro 2 - Características e benefícios dos materiais nano modificados mais promissores da construção civil

| MATERIAL | CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS |
|----------------------|--|
| Nanotubos de Carbono | Estruturas cilíndricas formadas por uma ou mais camadas de carbono; Cinco vezes mais forte que o aço; Capacidade de armazenamento de hidrogênio; Condutores elétricos ou semicondutores; Podem desempenhar papel parecido com o dos cabos de aço, atuando como elemento de proteção do concreto em escala nanoscópica. |
| Revestimentos | Impermeabilizantes; Argamassas poliméricas; Adesivos e Selantes; Lubrificantes atóxicos. |

Continua>>

| MATERIAL | CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS |
|------------------|--|
| Concreto | Redutor de porosidade e esforço estrutural do cimento; Resistência mecânica; Condutividades elétrica e térmica superiores; Indicado para utilização em obras de grande porte; Devido à redução da porosidade, poderá ser utilizado em obras submarinas. |
| Telhas | Pode substituir o amianto; Pode ser um material resistente e pode reduzir a quantidade de amianto utilizada. |
| Tubos e Conexões | Constituídos de nano compósitos de PVC; Reação de polimerização obtida diretamente nos reatores; Resistência à tração; Resistência ao impacto e abrasão; Melhoram o desempenho do PVC ao fogo. |
| Esquadrias | A camada nano cerâmica aumenta a adesão da tinta de acabamento; protege a superfície metálica contra corrosão; É isenta de metais pesados e fósforo; Não contém componentes orgânicos voláteis (VOC); Utiliza menos água e energia em todo processo; A utilização de nano cerâmicos gera resíduos de baixa toxicidade. |
| Película Solar | Composta de 240 nano filmes; Proporciona maior conforto térmico; Redução do consumo de energia elétrica; Retenção de raios ultravioleta e infravermelho; Resistência ao rasgo e ao impacto. |
| Tintas | As gotas de água formam glóbulos esféricos; Superfícies rugosas em nanoescala fixam a sujeira. |

A construção civil passou por uma revolução significativa em 1982 com a introdução do concreto protendido, e uma segunda revolução está em andamento, de acordo com Neto (2013), por meio da nanotecnologia, especialmente pela adição de nanotubos de carbono aos materiais cimentícios.

Os materiais cimentícios, como o concreto, são amplamente utilizados na construção civil devido à sua durabilidade e resistência. A estrutura desses materiais é composta principalmente por hidratos de silicato de cálcio (CSH), que são formados durante a hidratação do cimento Portland. A nanoestrutura desses materiais desempenha um papel crucial em suas propriedades e desempenho (Chen *et al.*, 2021).

2. NANOTECNOLOGIA E BIOTECNOLOGIA EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS

2.1. Adição de nanopartículas em materiais cimentícios

A adição de nanopartículas em materiais cimentícios tem sido estudada extensivamente devido aos seus efeitos positivos no desempenho desses materiais. As NPs podem acelerar a nucleação de silicato de cálcio hidratado (CSH), aumentar a resistência e reduzir a permeabilidade do concreto. Esses efeitos são atribuídos a mecanismos como aumento dos locais de nucleação, formação de CSH via reação pozolânica e adensamento do material cimentício (Chen *et al.*, 2021).

A adição de nanotubos de carbono ao cimento superou as expectativas produzindo um material de alta resistência. Chen *et al.* (2021) afirma que os nanotubos de carbono são elementos com alta resistência mecânica e ótima condutividade elétrica e térmica e que tais características podem ser transferidas para o cimento.

A adição dos nanotubos de carbono gera um cimento no qual:

As fibras de carbono não quebram nem deformam quando submetidas à alta pressão e são consideradas os melhores condutores de energia e calor que existem no mundo. A adição dos nanotubos ao cimento pode aumentar significativamente sua resistência à tração e compressão, além de diminuir a porosidade— (Neto, 2013, p.15).

Chen *et al.* (2021) acrescentam os benefícios ao tratamento de águas residuais e a recuperação de recursos naturais. Os estudos encontrados nesta pesquisa utilizaram o cimento Portland em seus experimentos. Esse cimento é o mais utilizado no mundo, composto de clínquer e adições, tais como sílica, óxido de cálcio, alumina, óxido de ferro III e óxido de magnésio que conferem diferentes propriedades mecânicas e químicas. Sua produção envolve um processo altamente poluidor.

O material formado a partir da adição dos nanotubos de carbono ao cimento Portland é chamado de cimento-nanotubos de carbono. É como se microscópicos cabos de aço fossem adicionados ao material, gerando uma protensão no concreto que pode chegar a 200 MPa (Neto, 2013).

Existem duas formas de sintetizar nanotubos: a primeira é vaporizar o grafite com pulso de laser de alta energia, usando átomos de níquel ou cobalto como catalisador. A segunda, considerada a opção mais econômica, é vaporizar o grafite através de uma corrente elétrica, usando ferro ou níquel como catalisador (Neto, 2013). Após a vaporização, o composto de carbono se condensa formando uma grande quantidade de nanotubos. Em termos físicos, seu formato é de um cilindro muito longo, formado por uma folha de grafite enrolada, e sua cor é preta (Neto, 2013).

Os nanotubos são semicondutores ou metálicos. Ser metálico significa que as características de condutividade elétrica se assemelham à dos metais. As condições de transporte de energia dos semimetais dependem de outros parâmetros, que podem ser controlados. O que determina a condutividade dos nanotubos é sua geometria, a relação do comprimento x diâmetro. De acordo com Neto (2013), os que possuem diâmetro menor são semicondutores, os que possuem diâmetro maior são metálicos.

O Laboratório de Nanomateriais do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) desenvolveu um método em que os nanotubos são gerados a partir da produção do próprio cimento Portland (Neto, 2013). Com esses resultados, a UFMG conseguiu reduzir o custo do cimento com nanotubos de carbono de 10 vezes o valor do cimento Portland original para 4 vezes esse valor.

2.2. Adição de nanopartículas (NPs) biológicas em materiais cimentícios

Além das nanopartículas convencionais, as nanopartículas biogênicas (bio-NPs) também estão sendo exploradas para melhorar o desenvolvimento dos materiais cimentícios. As bio-NPs são produzidas por microorganismos e apresentam características semelhantes às NPs convencionais. A biossíntese de bio-NPs oferece uma abordagem ecológica e sustentável para a produção de NPs (Chen *et al.*, 2021).

A síntese das NPs abióticas acontece por meio de processos com grande custo e consumo de energia, considerados tóxicos ao meio ambiente. Já na produção de bio-NPs os microrganismos atuam como biocatalizadores na conversão de íons metálicos em nanopartículas (Chen *et al.*, 2021). Os mecanismos de síntese incluem aprisionamento seguido de conversão de íons, interação com proteínas e regulação por enzimas.

A adição das bio-NPs pode ser feita de três maneiras: diretamente, precipitadas ou revestidas na superfície dos agregados antes da mistura com os materiais cimentícios. Isso promove a nucleação localizada dos produtos de hidratação na zona de transição interfacial, melhorando o desempenho do concreto (Chen *et al.*, 2021).

Chen *et al.* (2021) pontua que a produção biológica de NPs exhibe características morfológicas preferidas que podem ser controladas geneticamente, otimizando a relação entre a estrutura (geometria) e as características dos materiais de engenharia civil.

A capacidade natural dos microrganismos para imobilizar metais pesados (por exemplo, Hg, Cr, Zn, Cd, Cu, Ag) - e a programabilidade dos microrganismos para fazê-lo através da biologia sintética - bem como a sua capacidade de sequestrar gases de efeito estufa e neutralizar substâncias orgânicas voláteis compostos proporcionam aos engenheiros civis uma grande oportunidade de tratar águas residuais, recuperar elementos de terras raras e minimizar a poluição do ar - (Chen *et al.*, 2021, p.1).

Assim a síntese de bio-NPs se apresenta como alternativa para minimizar o impacto ambiental, oferecendo novos caminhos para desenvolver materiais cimentícios resilientes e de alto desempenho.

3. CONSIDERAÇÕES AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE

3.1. Remoção de metais pesados

A contaminação ambiental por metais pesados, resultante de atividades industriais como mineração e produção de baterias, tem se tornado uma preocupação crescente (Fu; Wang, 2011). Esses metais, incluindo cádmio, mercúrio, chumbo, zinco, cobre, níquel e cromo, apresentam propriedades químicas diversas, causando impactos negativos na saúde humana quando expostos (Giovanella *et al.*, 2020).

Diversas técnicas foram desenvolvidas para remediar a presença desses metais, abrangendo desde métodos químicos convencionais, como precipitação química e troca iônica, até tecnologias biológicas, destacando a eficácia e baixo custo dessas últimas (Kumar *et al.*, 2015).

Microorganismos, incluindo bactérias e algas, demonstram ser promissoras para a remediação de metais pesados. Processos simples como a adição direta de microorganismos em água poluída ou suspensões, promoção de biomineralização em superfícies de materiais cimentícios e crescimento de biofilmes para biorredução, biossorção e bioacumulação (Newsome *et al.*, 2014).

Em resumo, o uso de nanotecnologia em materiais cimentícios para remoção de metais pesados representa uma abordagem inovadora e promissora. A imobilização em cimentos Portland e o potencial de adsorção em geopolímeros, combinados com os mecanismos de remoção microbiana, oferecem perspectivas robustas para a futura aplicação dessas tecnologias na prática da engenharia civil.

3.2. Remoção da Poluição Atmosférica

A poluição do ar é uma preocupação crescente, resultando em aproximadamente 6,4 milhões de mortes em todo o mundo em 2015. Este problema é agravado pelas emissões de CO₂, NO_x (dióxido de nitrogênio) e compostos orgânicos voláteis (VOCs), especialmente em áreas urbanas (Petronella *et al.*, 2017).

Materiais cimentícios, como pastas de cimento, têm demonstrado a capacidade de interagir com o CO₂ atmosférico, embora o poder de remediação do CO₂ por pastas de cimento seja limitado (Souto-Martinez *et al.*, 2017). Há estratégias mais eficazes para o sequestro de CO₂ envolvendo minerais contendo cálcio e/ou magnésio, mas essas podem ser dispendiosas.

A degradação por NO_x (estado de oxidação) tem sido abordada usando propriedades catalíticas de nanopartículas de TiO₂ (dióxido de titânio), que quando iluminadas, geram oxigênio para oxidar NO_x em ácido nítrico, sendo neutralizado por fases alcalinas nos materiais cimentícios (Spasiano *et al.*, 2015). Esse método tem sido testado experimentalmente e modelado demonstrando eficácia na remoção de poluição por NO_x.

O processo fotocatalítico induzido por nanopartículas de TiO₂ também tem sido utilizado para remover VOCs (compostos voláteis orgânicos) tóxicos, como solventes, levando à formação de produtos inofensivos (Petronella *et al.*, 2017).

4. CONCLUSÃO

Como foi demonstrado, as inovações em materiais cimentícios, impulsionadas pela nanotecnologia e biotecnologia na construção civil, representam uma promissora fronteira para o desenvolvimento de materiais mais duráveis, sustentáveis e eficientes. Oferecendo oportunidade de melhorar a qualidade dos materiais de construção e de reduzir o impacto ambiental gerado pelas atividades construtivas.

A adição de nanotubos de carbono em material cimentício evidenciou o aumento da resistência e durabilidade e redução da porosidade em materiais

cimentícios. Além de oferecer soluções para a proteção do concreto. A possibilidade de construir com estruturas mais leves, resistentes e sustentáveis pode permitir novas aplicações em um futuro breve.

A modificação de genética é uma grande oportunidade para conferir funcionalidades melhoradas a microrganismos que são de interesse específico para a indústria civil, podendo potencializar a biossíntese de NPs, bio-NPS. Sendo uma opção sustentável para melhorar o desenvolvimento dos materiais cimentícios, por meio da capacidade dos microrganismos de imobilizar os metais pesados e sequestrar os gases do efeito estufa.

A nanotecnologia e a biotecnologia são promessas para melhorar a qualidade de vida do ser humano, através da capacidade de gerar materiais e processos mais eficientes, econômicos e ambientalmente responsáveis. A pesquisa de tais tecnologias foi impulsionada pela colaboração interdisciplinar entre cientistas, engenheiros, arquitetos e biólogos. A atual expectativa é que elas possam gerar produtos e processos mais eficientes e econômicos, com menor gasto de energia e menos agressivos ao meio ambiente.

No entanto, para que isso se torne realidade, é necessário ultrapassar a barreira da pesquisa, e então entrar na fase de fabricação e possível comercialização. Essas novas tecnologias necessitam de um gigantesco esforço científico para entender e explorar seus mecanismos, seja em escala muito pequena ou utilizando microrganismos vivos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. F. L.; MORAES, C. A. C. Indústrias do futuro e tecnologias emergentes: visão de um futuro sustentável. **Parcerias Estratégicas**, São Paulo, v. 16, n. 33, 2011.

CHEN, X.; CHARRIER, M.; SRUBAR III, W. V. Nanoscale Construction Biotechnology for Cementitious Materials: A Prospectus. **Frontiers in Materials**, v. 7, 594989, 2021.

DEJONG, J. T. *et al.* Engenharia de solos in vivo: aproveitando sistemas biogeoquímicos naturais para soluções de engenharia sustentá-

veis e multifuncionais. **Jornal da Sociedade Real Interface**, v. 54, p. 1-15, 2011.

DULLEY, R. D. Nanotecnologia e o princípio da precaução na sociedade de risco. 2006. Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cader-nos/direito-ambiental/nanotecnologia-e-o-principio-da-precauca-na-sociedade-de-risco/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. **Nanotecnologia — Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artliber, 2006.

ELVIN, G. **Relatório**: Nanotecnologia para edifícios verdes. Disponível em: <http://www.ecopress.org.br/noticias/> . Acesso em: 20 jul. 2023.

FU, F.; WANG, Qi. Remoção de íons de metais pesados e águas residuais: uma revisão. **Revista de gestão ambiental**, v. 92, n. 3, p. 407-418, 2011.

GIOVANELLA, P. *et al.* Biorremediação de poluentes metálicos e orgânicos por microrganismos extremófilos. **Revista de materiais perigosos**, v. 382, p. 121024, 2020.

MARCELLO, G. A. **O uso do cimento e argamassa de cal na construção civil e riscos prejudiciais à saúde**. (Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina). 2018.

MAY, A. **Nanotecnologia na Sociedade de Risco**. (Monografia de Graduação, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul) 2002.

NETO, E. R. L. Aspectos relevantes da nanotecnologia e a sua aplicação na construção civil. **Revista Especialize On-Line IPOG**, v. 1, n. 6, p. 1-19. 2013

NEWSOME, L.; MORRIS, K.; LLOYD, J. R. A biogeoquímica e biorremediação de urânio e outros radionuclídeos prioritários. **Geologia Química**, v. 363, pág. 164-184, 2014.

PETRONELLA, F. *et al.* Materiais nanocompósitos para degradação fotocatalítica de poluentes. **Catálise Hoje**, v. 281, p. 85-100, 2017.

SPASIANO, D. *et al.* Fotocatálise solar: Materiais, reatores, algumas aplicações comerciais e pré-industrializadas. Uma abordagem abrangente. **Catálise Aplicada B: Ambiental**, v. 170, p. 90-123, 2015.

SOUTO-MARTINEZ, A. *et al.* A mathematical model for predicting the carbon sequestration potential of ordinary portland cement (OPC) concrete. **Construction and building materials**, v. 147, p. 417-427, 2017.

KUMAR, K. S. *et al.* Microalgas – uma ferramenta promissora para remediação de metais pesados. **Ecotoxicologia e segurança ambiental**, v. 113, p. 329-352, 2015.

CAPÍTULO 4

MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Sarah Yasmin Pereira Marques

As tecnologias de fabricação rápida foram favorecidas pelos avanços computacionais e de polímeros, modificando significativamente o tempo de desenvolvimento de peças e produtos, favorecendo ajustes ainda na fase de protótipo antes de seu processo de produção em larga escala (Lesko, 2012). Um dos braços da fabricação rápida é conhecido como Manufatura Aditiva (AM - *Additive Manufacturing*), e tem sido visto como potencial em muitas indústrias por proporcionar a personalização e criação de poucas peças de alta complexidade geométrica sem um custo adicional significativo (Lowke *et al.*, 2018), alcançando também a construção civil sob um olhar de revolução dos métodos tradicionais de construção.

A Manufatura Aditiva consiste em sobrepor camadas de material a partir de instruções computadorizadas (Paiva; Nogueira, 2021). Na Manufatura Subtrativa (MS - *Subtractive Manufacturing*) o processo final de execução parte do inverso, pois, por meio de ferramentas de corte e/ou rebaixo, o material é submetido à remoção para produzir a forma desejada (Barros, 2011). Um exemplo de Manufatura Subtrativa é a Usinagem que se vale de uma técnica com produção de cavaco (Lefteri, 2013). Com isso, a quantidade de material que será direcionado para a produção física do objeto acaba por ser reduzida ao necessário com o uso de Manufatura Aditiva (Khoshnevis, 2003).

Diferentes inovações tecnológicas ao longo do tempo começaram a ser agregadas à construção civil, e algumas delas, como a Manufatura Aditiva, fazem parte dos pilares da conhecida Indústria 4.0. O espaço digital é parte essencial na aplicação de técnicas de AM, pois o projeto do modelo digital constitui peça-chave para a fabricação automatizada. O ambiente digital também é um dos territórios para o desenvolvimento de projetos na área da construção civil (Silva, 1996). Os profissionais como arquitetos, urbanistas, engenheiros e designers utilizam diversas ferramentas e *softwares*, o que inclui o sistema *Computer Aided Design* (CAD), também presente na AM. Este texto visa, por meio da revisão da literatura, explorar o impacto da Manufatura Aditiva na construção civil, destacando desafios e oportunidades.

1. DEFINIÇÃO E PRINCÍPIOS BÁSICOS

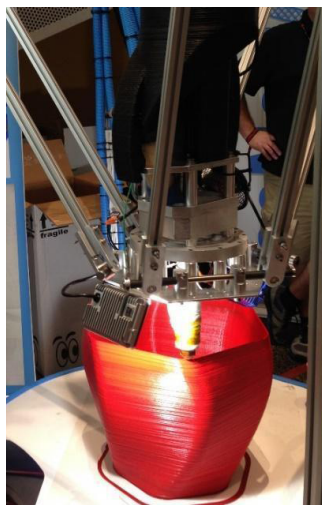
O universo da AM teve seus primeiros registros de patentes no século XX. Segundo Lesko (2012), em 1986, Charles Hull patenteou um sistema de prototipagem rápida conhecido como estereolitografia (SLA - *Stereolithography*). Nesta técnica, —a partir de um arquivo de CAD, peças são produzidas por um laser que percorre um banho de resina fotossensível, construindo um componente camada a camada— (Lefteri, 2013, p. 246). Já, em 1989, de acordo com Pereira, Gasi e Lourenço (2019), outro sistema de impressão 3D que se tornou popularmente conhecido foi patenteado por Scott Crump, a Modelagem por Deposição de Fundidos (FDM - *Fused Deposition Modeling*), onde camadas de termoplásticos são depositadas através de um processo de extrusão (Pereira; Gasi; Lourenço, 2019). A princípio, as tecnologias de Manufatura Aditiva possuíam um valor bastante elevado, o que as tornava pouco acessíveis, mas, com o passar dos anos, e com a queda da patente de modelagem por deposição de fundidos, seu uso se aproximou cada vez mais da realidade cotidiana (Paiva; Nogueira, 2021; Pereira; Gasi; Lourenço, 2019).

Além dessas, existem outras diversas técnicas de AM que vêm sendo empregadas nos últimos anos, e avanços recentes têm a capacidade de usar diversos materiais em conjunto. Um desses exemplos está em Buchner *et al.* (2023), que apresenta o jateamento controlado por visão (*Vision-controlled*

jetting), utilizando multimatérias. De acordo com os autores, nesse método, as camadas depositadas com multimatérias são mapeadas (mapa de altura) usando um *scanner* antes da produção da próxima camada, fazendo uma adequação durante a execução da camada subsequente caso haja irregularidades na camada anterior. O uso desse método permite a construção de praticamente qualquer estrutura interna nas geometrias, como por exemplo, uma bomba que se assemelha a um coração (Buchner *et al.*, 2023).

No processo de impressão, um modelo digital serve como guia para locação das camadas de material na criação física do objeto (Paiva; Nogueira, 2021; Lowke *et al.*, 2018). De acordo com Lefteri (2013), essa modelagem é desenvolvida utilizando um *software* CAD que, posteriormente, tende a ser exportada para o *software* de impressão em que diversos parâmetros (fatiamento, camadas, preenchimento, dimensões etc.) serão definidos e, após, ocorrerá a efetiva materialização no mundo físico (Figura 1).

Figura 1 - Exemplo de deposição de material em camadas



Fonte: Z22, CC BY-SA 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Large_delta-style_3D_printer.jpg, via Wikimedia Commons

Segundo Paiva e Nogueira (2021), as representações digitais para este fim (AM) podem ser construídas a partir da ideia do projeto, ou com uso de outras tecnologias como levantamentos indiretos com *scanners* a laser que permitem coletar dados da superfície geométrica do objeto. Esse segundo tipo de método de modelagem torna-se benéfico a fim de desenvolver peças fora da linha de produção ou itens personalizados como próteses dentárias, executando um processo de modelagem reversa.

Com uma amplitude de técnicas, a adoção da Manufatura Aditiva se popularizou em diferentes áreas e nas mais diversas escalas, desde estruturas minúsculas até o desenvolvimento de estruturas maiores, como para a construção civil. O sistema CAD utilizado no desenvolvimento de modelos para impressão 3D já está presente em uma gama de projetos arquitetônicos. E as etapas AM na área da construção segue a mesma lógica, sobrepor camadas de material através de instruções computadorizadas, partindo do projeto da edificação, sendo importante definir o material para, assim, avaliar qual a técnica adequada a ser adotada (Paiva; Nogueira, 2021; Davtalab; Kazemian; Khoshnevis, 2018).

2. MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

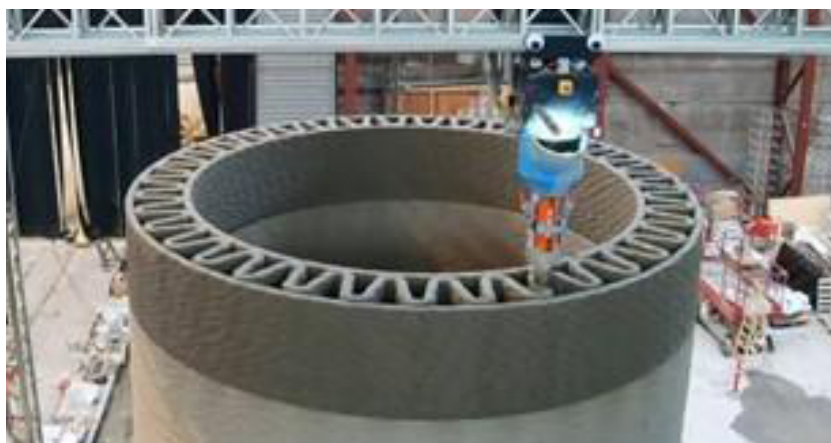
O empilhamento de camadas de materiais é praticado na construção civil de diversos modos, como por exemplo, na alvenaria de tijolo furado, sendo justaposto fiada a fiada. As técnicas de AM trazidas pela fabricação digital, na proporção de desenvolvimento de objetos em escala mais ampla, carregaram um olhar mais automatizado para o processo de construção de edificações por camadas, visando uma redução bastante significativa no tempo de execução, nas emissões de poluentes, no desperdício de materiais (sendo gasto apenas o necessário ou reaproveitando), na logística (Khoshnevis, 2003) e no consumo de energia (Shakor *et al.*, 2022).

Neste campo, de acordo com Prasad, Vasugi e Kumaran (2023), o Dr. Behrokh Khoshnevis desencadeou o primeiro teste para produzir peças cerâmicas com a técnica de impressão 3D, em 1995, registrando uma patente em 1996. —Dr. Khoshnevis usou uma impressora 3D FDM montada em braço robótico para criar uma parede no final de 2001— (Prasad; Vasugi; Kumaran,

p. 2, 2023). Segundo os autores, a *Loughborough University* foi uma das instituições pioneiras em pesquisas direcionadas ao concreto nessa área, criando em 2008 uma impressora de grandes dimensões focada na extrusão desse material. A popularização da AM foi constituída pelas impressoras 3D domésticas, carregando a possibilidade de conceber protótipos em escala reduzida que auxiliam nas fases de concepção projetual e compressão volumétrica de modo rápido e por diversas vezes (Barreto, 2019), no entanto, a aplicação para a produção de estruturas de grande porte ainda é limitada, devido ao alto custo e análise dos parâmetros específicos do material a ser empregado (Crivelaro *et al.*, 2019; Formiga e Carneiro, 2021).

De acordo com Carasek *et al.* (2021), o método de extrusão (Figura 2) tornou-se o mais adotado no campo da construção civil. –Em termos mais simples, extrusão consiste em espremer o material através de um furo de uma matriz e, assim, produzir comprimentos contínuos deste material com qualquer perfil que este furo tenha– (Lefteri, 2013, p. 96). Na indústria da construção civil despertou-se interesse na utilização desse método com materiais como os cimentícios e/ou os argilosos.

Figura 2 – Exemplificação do método de extrusão com material cimentício



Fonte: COBOD, CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_printed_wall.jpg, via Wikimedia Commons.

Outro método de AM é o *Binder Jetting* (Base de pó/jato de tinta). Shakor *et al.* (2022) descrevem que essa é a segunda técnica mais conhecida para a área da construção civil. Após as etapas de modelagem e fatiamento nos *softwares*, a máquina [...] espalhar camadas na câmara de construção, o bico pulveriza agente adesivo ou água (ativador) para solidificar o pó na câmara de construção (que é chamado de aglutinante) em cada camada, então os procedimentos são repetidos até que toda a parte esteja concluída— (Shakor *et al.*, 2022, p. 643, tradução nossa). Os autores também descrevem que existem materiais cujo uso da técnica de extrusão não é a ideal, e o *binder jetting* pode ser mais eficaz, como no caso do gesso, por sua rapidez e tempo de endurecimento.

A *Contour Crafting* (CC), inventada pelo Dr. Khoshnevis, trazia a ideia de deposição do material com técnicas parecidas com as impressoras a jato de tinta e de extrusão (Lefteri, 2013). No caso do uso de CC com base na posição pré-definida, a pasta de cimento é extrudada camada a camada, por meio de uma estrutura de pórtico instalada no canteiro de obras (Hamidi; Aslani, 2019), esse processo acaba por ser, em grande parte, automatizado, alcançando o desenvolvimento de geometrias complexas, mas as portas, janelas e instalações podem ser alocadas de modo manual (Khoshnevis, 2003).

Existem mais soluções, como as baseadas em braços robóticos. De acordo com Formiga e Carneiro (2021), os articulados ocupam menos espaço, são mais fáceis de serem transportados e montados, mas possuem limitações em relação aos esforços em sua base quando alcançam o máximo de sua extensão. Os autores também citam outros tipos, como: os que trabalham em conjunto na execução; os robôs de cabo com uma área mais ampla de impressão; e os voadores que operam em modo contínuo (Formiga; Carneiro, 2021). A escolha do método que mais se adequa dependerá da intenção projetual, do material, acesso aos equipamentos, e o local de execução da obra.

3. ESTUDOS DE CASO

Nesta seção são citados alguns exemplos de AM aplicados na área. Dini, explorou o uso da técnica de *Binder Jetting* com a impressora que ficou conhecida como D-Shape, conseguindo depositar mais material, já que o equipamento possui bicos maiores do que as impressoras de jato de tinta (Lowke *et al.*, 2018; D-Shape, entre 2003 e 2022), está foi considerada no ano de 2007 –[...] a primeira impressora de construção em grande escala do mundo (Lowke *et al.*, 2018, p. 60, tradução nossa). Alguns exemplos criados com essa impressora foram a primeira estrutura arquitetônica impressa em 3D, projeto da Arquiteta Andrea Morgante que iniciou em 2008, chamado de Pavilhão Radiolário (Lowke *et al.*, 2018); e uma casa de 2,4m x 4m, elaborada em 2010, em um processo contínuo que durou três semanas (D-Shape, entre 2003 e 2022).

Segundo Hager, Golonka e Putanowicz (2016), o ano de 2014 marcou significativamente a visão dessa tecnologia no campo da construção. Os autores discorrem que a companhia *WinSun*¹ demonstrou a construção de casas com componentes produzidos em uma fábrica por meio do método de extrusão com argamassa, e alguns anos mais tarde, também criaram uma edificação de cinco andares ao adotarem a mesma técnica (Hage; Golonka; Putanowicz, 2016).

Um exemplo do uso de cimento na impressão de moradias é a residência unifamiliar, primeira produzida no Brasil e, também, considerada a primeira na América Latina, localizada na cidade de Macaíba, Natal – RN. A edificação possui 66m² e o tempo de construção no canteiro de obras foi de uma semana, sendo 2 dias para a impressão (Comunidade Sebrae, 2020). Esse projeto foi idealizado e desenvolvido pela *startup* –InovaHouse 3D– (Taparello, 2016). O projeto destacou a redução de tempo na construção e diminuição de 20% na relação de custo da construção comparando-se ao método convencional (Comunidade Sebrae, 2020).

¹ É uma empresa especializada em arquitetura de impressão 3D e desenvolvimento de materiais de construção.

Materiais como a terra também podem fazer parte das construções com AM (Abyzov *et al.*, 2020). No Brasil, esse material já se encontra presente em diversas edificações. Um exemplo é a taipa de pilão que é um [...] sistema de construção em que a terra é socada ou apiloada, permitindo obter paredes de grandes espessuras e de extrema rigidez— (Madeira; Valio, 2007, p. 19). Edificações que utilizam essa técnica podem ser vistas em cidades brasileiras que conservam traços do período colonial, como a Cidade de Goiás, em Goiás. Os benefícios do uso da terra como material principal são o fácil acesso pela disponibilidade local, baixo consumo de energia, melhoria de conforto, entre outros (IAAC, 2022; Crivelaro *et al.*, 2019). De acordo com Hamidi e Aslani (2019), o adobe pode ser fabricado com uso da técnica de Construção de Contornos (CC - *Contour Crafting*), evitando o uso de estruturas de apoio.

Iniciado em 2019, o protótipo de uma habitação elaborado com a técnica de impressão 3D em terra foi denominado *Technology and Clay* (Tecla). O projeto, uma parceria entre a empresa Mario Cucinella Architects (MCA) e a *World's Advanced Saving Project* (Wasp), encontra-se localizado no parque tecnológico Wasp e possui cerca de 60 m² (MCA, [2020?]). A tecnologia utilizada possibilita criar uma unidade em setenta e duas horas (MCA, [2020?]).

Outro protótipo denominado como —TOVA— foi desenvolvido na cidade de Barcelona (Espanha) em 2022 pelo *Institute for Advanced Architecture of Catalonia* (IAAC). O projeto conta com 9m² e também utilizou a terra como material principal, demandando de sete semanas para execução com um guindaste Wasp (Coulleri, 2022; IAAC, 2022). O solo foi extraído e analisado para dosar a quantidade ideal de argila e água (Coulleri, 2022), sendo misturado com ativos e enzimas (IAAC, 2022). Um revestimento impermeável foi adotado empregando materiais como ‘aloe vera’ e claras de ovo (IAAC, 2022).

Liu *et al.* (2019) apresentam dados de pesquisas em âmbito global sobre impressão 3D em concreto. Segundo os autores, foi possível notar um crescimento de publicações no ano de 2016 com aumento mais expressivo em 2019, tendo em vista que nesse intermédio, estudos focados em concreto sustentável também tiveram um aumento. Com isso, observa-se nos estudos, não apenas o anseio de produção, mas a preocupação em alinhar o uso dessa tecnologia a fim de produzir edifícios com estratégias mais sustentáveis.

4. OPORTUNIDADES

A prototipagem digital (impressão 3D, corte a laser etc) abriu um leque de oportunidades para ser empregado na área da construção. Segundo Taparello (2016), a impressão 3D encontrou a arquitetura nas fases de maquete de estudo. Já na escala de edificações usuais, de acordo com Crivelaro (2019), a redução de custo e tempo são vistos como benefícios de adoção da AM na construção, tendo em foco que até 90% do material será empregado durante a execução. Hage, Golonka e Putanowicz (2016) citam que o custo das residências se torna inferior, pois, não há grande necessidade de logística no transporte dos insumos, além da demanda de espaço para o armazenamento de materiais *in loco*. Para os autores, o processo de AM, por meio da montagem de edificações, acarreta em menos resíduos.

Como citado na seção 4, alguns dos projetos de residência demandaram poucos dias para a materialização física, reduzindo o tempo de desenvolvimento (Hage; Golonka; Putanowicz, 2016), o que, segundo Crivelaro (2019), em relação às residências, pode propiciar um auxílio na diminuição do déficit habitacional, haja visto o tempo e o custo inferior a outros métodos de construção.

Durante a execução do projeto, Hage, Golonka e Putanowicz (2016) citam que as possibilidades de acidentes de trabalho se tornam inferiores, já que grande parte do processo com maior grau de dificuldades na execução poderia ser exercido pelo maquinário de modo automático. Tendo em vista essa automação, o desenvolvimento de projetos com geometrias complexas também se apresenta como potencial nesse campo (Crivelaro *et al.*, 2019)

De acordo com Barreto (2019), como o material empregado na construção trata-se do necessário para produção, em situações emergenciais a impressão 3D acaba por se tornar um método com custo mais baixo em comparação ao padrão para construção. Em dois dos exemplos de projeto da seção anterior, o material empregado na fabricação foi a terra, visando a elaboração com baixa emissão de carbono (ou quase nula), considerando aspectos bioclimáticos e o uso de materiais locais (MCA, [2020?], IAAC, 2022). As propostas são para o desenvolvimento mais ágil de edificações

que possam auxiliar na mitigação de situações emergenciais, que acabam ocasionando a falta de abrigo e a ausência de habitação.

5. DESAFIOS

O uso de tecnologias como a AM, além de oportunidades, acarreta desafios. Há questões que envolvem aceitação frente aos métodos tradicionais de construção adotados nos diferentes países, além de inquietações pela possibilidade de impactar os postos de trabalho nesta área, gerando desemprego (Crivelaro *et al.*, 2019; Hage; Golonka; Putanowicz, 2016), já que, apesar das interferências manuais como a inserção de aberturas, ferragem etc., grande parte do processo ainda será automatizado e ocorrerá em um curto prazo de tempo.

De acordo com Crivelaro *et al.*, (2019), uma das limitações que se apresentam frente a adoção da impressão 3D na construção é o custo inicial de investimento em máquinas, que se torna mais viável para grandes construtoras que atendem demandas maiores de projetos. Para Soto *et al.*, (2018 *apud* Pasco; Leij; Aranas, 2022), no tocante custo, a AM torna-se mais benéfica para adoção em projetos que influem em geometrias mais complexas do que para estruturas convencionais de construção.

A mão de obra qualificada tende a ser outro ponto importante para implementação desse tipo de produção pois, apesar da adoção de sistema CAD, outras ferramentas serão necessárias para dar suporte à execução. Para Crivelaro *et al.* (2019), a ausência de preparo para lidar com questões de operação, manutenção e logística pode acometer uma inversão no propósito de ganho de tempo na criação das edificações com AM. Isso pode ser refletido também durante a montagem das peças transportadas para a obra, já que deverá haver a ligação adequada das partes avaliando a tolerância de variações em relação ao tamanho e à posição das peças (Liu *et al.*, 2019), a fim de não comprometer o projeto.

A escolha da técnica e materiais usados na execução será crucial para a qualidade do produto final. —Os materiais usados na impressão 3D (ou na fabricação aditiva em geral) podem ser sólidos, viscosos, em pó ou líqui-

dos— (Jassmi; Najjar; Mourad, 2018, p. 8, tradução nossa). Nos casos de impressões com materiais cimentícios, por exemplo, a análise de alguns parâmetros torna-se necessária, um desses está relacionado com a interface, sendo que —As principais características da argamassa impressa que afetam a interface são: Umidade rugosidade superficial da camada, além de fissuração por retração— (Carasek *et al.*, 2021, p. 33). A extração de material no local, como a terra, precisa levar em consideração fatores ambientais como a localização, clima, tipo de solo, dentre outros.

Outra questão acerca do material é trazida por Formiga e Carneiro (2021) ao falarem sobre a pesquisa de Ji *et al.* (2019) que, com uso da AM, apesar de um número reduzido de trabalhadores exercendo as atividades manuais, os custos do material utilizado foram elevados, já que o concreto adotado teve que ser de classe superior. De acordo com Jassmi, Najjar e Mourad (2018) — [...] não se pode confiar no desempenho estrutural dos elementos impressos em 3D, pois as suas propriedades mecânicas podem ser altamente imprevisíveis— (p. 13, tradução nossa).

Durante a revisão da literatura, Formiga e Carneiro (2021) afirmam que a grande limitação elencada nas pesquisas é a escalabilidade das soluções. Para os autores, a análise de como se dará o entendimento da passagem dos protótipos desenvolvidos em pequenas escalas para sua versão maior em tamanho físico devem ser cuidadosas, pois as estruturas podem variar em comportamento. O desafio se dá também pelo tamanho das máquinas para produção porque os métodos que utilizam o sistema de pórtico, por exemplo, podem ser acometidos por dificuldades de transporte e instalação da estrutura *in loco*, além de limitar o tamanho. Pacillo *et al.*, (2021) também reafirmam isso —De fato, o maior desafio enfrentado pela construção aditiva é a transferência de tecnologias de AM para larga escala.— (Pacillo *et al.*, 2021, p. 2).

6. POTENCIAL PARA SUSTENTABILIDADE

A indústria da construção é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa e, para reduzir esse impacto no meio

ambiente, estratégias como uso de materiais alternativos vêm sendo adotadas (Li; Shi, 2023). Segundo Abyzov *et al.* (2020), a construção sustentável visa minimizar ao máximo os danos ambientais e gerar um ambiente seguro e confortável.

A técnica de Manufatura Aditiva tem demonstrado um potencial para contribuir nesse desafio. De acordo com Hage, Golonka e Putanowicz (2016), novos materiais poderão ser estudados para compor o universo da AM na construção, se propondo a substituir materiais como o concreto e, portanto, direcionando a alternativas mais ecológicas que possam auxiliar na produção de projetos mais sustentáveis. Os materiais sustentáveis são:

[..] materiais de construção nos quais os sistemas de ligantes ou agregados são incorporados com diferentes formas de resíduos ou materiais terrosos, visando reduzir as emissões de carbono e a exploração de recursos, enquanto as propriedades frescas são mantidas para garantir adequada bombeabilidade, extrudabilidade e capacidade de construção (Liu *et al.*, 2019, p. 28, tradução nossa).

Liu *et al.* (2019) observaram um aumento de interesse em pesquisas para análise das propriedades de materiais cimentícios, a fim de utilizar o concreto sustentável para reduzir a quantidade de concreto, por intermédio de matérias como: *fly ash* (FA), *silica fume* (SF), *ground blast furnace slag* (slag), *rice husk ash* etc. Os autores ainda alegam que neste campo de estudo (materiais sustentáveis em AM), os pesquisadores se concentram em avaliar o uso de geopolímeros.

Crivelaro *et al.*, (2019) afirmam que as edificações sustentáveis de AM podem acarretar em benefícios no desempenho térmico em relação às construções tradicionais, além de eliminar durante a execução a presença de formas de madeira e outros materiais que serão descartadas e trazer liberdade de *design* para as construções. Portanto, estratégias de adoção de materiais sustentáveis têm despertado interesse para viabilizar a construção de edificações com menos desperdício de material (IAAC, 2022) e garantindo parâmetros adequados para a habitabilidade dos espaços produzidos com AM.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Manufatura Aditiva está revolucionando a visão de execução das obras na construção civil. Este texto buscou explorar as oportunidades e desafios na área. Diferentemente da técnica de manufatura subtrativa, a AM propõe o uso do material necessário e vem demonstrando potencial de aplicação na indústria da construção por contribuir na diminuição do impacto ambiental gerado pelas técnicas convencionais adotadas.

A técnica que desencadeou a difusão da AM foi a impressão 3D que recebeu versões para uso doméstico (Barreto, 2019). A exploração do uso da manufatura em grande escala na construção ainda não é tão acessível. Segundo Barreto (2019), para as impressões em terra são precisos estudos do solo, e seria recomendável que, para a fase de projeção, o profissional possuísse uma impressora doméstica destinada aos materiais pastosos, porém, é necessário se atentar também ao comportamento dos materiais na transferência para o meio físico (Formiga; Carneiro, 2021).

O uso da impressão 3D também é vislumbrado para uma escala de projetos fora do planeta Terra. De acordo com Shakor *et al.* (2022), os materiais argilosos poderiam ter mais utilidade no processo 3DP em perspectiva de desenvolvimento de estruturas em ambiente extraterrestre. O método de jateamento por visão se vale de um *scanner* durante o processo de criação das camadas (Buchner *et al.*, 2023), a adoção de um *scanner* durante a impressão com método de CC, por exemplo, poderia ser interessante para coleta de informações precisas na produção de um modelo digital, como o uso de Modelagem da Informação da Construção.

Em suma, a Manufatura Aditiva está criando um caminho para alterar as dinâmicas nos canteiros de obras, guiando para a exploração e adoção de materiais mais sustentáveis. Apesar dos desafios, seu potencial tem despertado a atenção para as novas produções de edificações sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABYZOV, V. A.; PUSHKAROVA, K. K.; KOCHEVYKH, M. O.; HONCHAR, O. A.; BAZELIUK, N. L. Innovative building materials in creation an architectural environment. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 907, p. 012035, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012035>. Acesso em: 1 out. 2023.

BARRETO, L. C. Desenvolvendo impressora 3D de materiais pastosos. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/35593>. Acesso em: 04 nov. 2023.

BARROS, A. M. Fabricação digital: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/36350>. Acesso em: 15 nov. 2023.

BUCHNER, T. J. K.; ROGLER, S.; WEIRICH, S.; ARMATI, Y.; CANGAN, B. G.; RAMOS, J.; TWIDDY, S. T.; MARINI, D. M.; WEBER, A.; CHEN, D.; ELLSON, G.; JACOB, J.; ZENGERLE, W.; KATALICHENKO, D.; KENY, C.; MATUSIK, W.; KATZSCHMANN, R. K. Vision-controlled jetting for composite systems and robots. **Nature**, v. 623, p. 522–530, 15 nov. 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06684-3>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CARASEK, H.; ARAÚJO, R. C.; OLIVEIRA, A. M.; CASCUDO, O. Impressão 3D de materiais cimentícios: influência da aderência entre camadas nas propriedades mecânicas e na durabilidade. **CONCRETO & CONTRUÇÃO**, v. XLIX, p. 28-33, 2021. Disponível em: https://ibracon.org.br/Site_re_vista/Concreto_Construcoes/pdfs/edicao103/Revista%20Concreto%20IBRACON%20103%20-%20Industrializa%C3%A7%C3%A3o%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.

COMUNIDADE SEBRAE. Entrevista: startup pioneira em impressão 3D de casas no Brasil reduz custos de construção em até 50%, nov. 2020. Disponível em: <https://comunidade-apps.pr.sebrae.com.br/comunidade/artigo/entrevista-startup-pioneira-em-impressao-3d-de-casas-no-brasil-reduz-custos-de-construcao-em-ate>. Acesso em: 18 nov. 2023.

COULLERI, A. ARCHDAILY. Protótipo TOVA / Posgrado 3D Printing Architecture IAAC. ArchDaily Brasil, 30 ago. 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/988030/prototipo-tova-posgrado-3d-printing-architecture-iaac>. Acesso em: 22 nov. 2023. ISSN 0719-8906.

CRIVELARO, M.; SENA, B.; CONTI, G.; FANTINI, J.; AMBRÓSIO, M.; LIMA, W. 3D PRINTED HOUSE: CASAS FEITAS POR IMPRESSÃO 3D (Portuguese Edition). Edição do Kindle. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/3D-PRINTED-HOUSE-FEITAS-IMPRESS%C3%83O-ebook/dp/B07MCWBZNM>. Acesso em: 15 nov. 2023.

D – SHAPE. 3D Printing Technology, [entre 2003 e 2023]. Disponível em: <https://d-shape.com/3d-printing/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

DAVTALAB, O.; KAZEMIANA, A.; KHOSHNEVISA, B. Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction through Contour Crafting. **Automation in Construction**, v. 89, p. 13-23, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580517307975>. Acesso em: 10 nov. 2023.

FORMIGA, C. V. E.; CARNEIRO, M. L. Impressão 3D para construção civil: revisão da literatura e desafios. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13, n. 4, p. 226-237, 2021. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/19632>. Acesso em: 29 jan. 2024.

HAGER, I.; GOLONKA, A.; PUTANOWICZ, R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?. **Procedia Engineering**, v. 151, p. 292 – 299, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816317453>. Acesso em: 22 dez. 2024.

HAMIDI, F.; ASLANI, F. Additive manufacturing of cementitious composites: Materials, methods, potentials, and challenges. **Construction and Building Materials**, v. 218, p. 582 - 609, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819313194>. Acesso em: 18 jan. 2024.

IAAC - Institute for Advanced Architecture of Catalonia. IAAC designs and constructs Spain's first 3D printed building using earth and Crane Ward. 2022. Disponível em: <https://iaac.net/project/3dpa-prototype-2022/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

JASSMI, Hamad Al; NAJJAR, Fady Al; MOURAD, Abdel-Hamid Ismail. Large-Scale 3D Printing: The Way Forward. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 324, n. 012088, p. 1-15, 2017. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/324/1/012088>. Acesso em: 24 jan. 2024.

JI, G.; Ding, T.; Xiao, J.; Du, S.; Li, J.; Duan, Z. A 3D Printed Ready-Mixed Concrete Power Distribution Substation: Materials and Construction Technology. **Materials**, v. 12, p. 1540, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31083405/>. Acesso em: 29 jan. 2024.

KHOSHNEVIS, B. Toward Total Automation of On-Site Construction - An Integrated Approach based on Contour Crafting. **Proceedings of the 20th ISARC**, Holanda, p. 61-66, 2003. Disponível em: https://www.iaarc.org/publications/proceedings_of_the_20th_isarc/toward_to_tal_automation_of_onsite_construction_an_integrated_approach_based_on_contour_crafting.htm. Acesso em: 19 nov. 2023.

LEFTERI, C. **Como se faz**: 92 técnicas de fabricação para design de produtos. 2ª ed. Blücher, 2013.

LESKO, J. **Design Industrial**: Guia de Materiais e Fabricação. 2ª ed. Blücher, 2012.

LI, Z.; SHI, X. Towards sustainable industrial application of carbon-negative concrete: Synergistic carbon-capture by concrete wash-out water and biochar. **Materials Letters**, v. 342, n. 134368, p. 1-4,

2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X23005530?via%3Dihub>. Acesso em: 11 nov. 2023

LIU, J.; NGUYEN-VAN, V.; PANDA, B.; FOX, K.; DU PLESSIS, A.; TRAN, P. Additive Manufacturing of Sustainable Construction Materials and Form-finding Structures: A Review on Recent Progresses. **3D Print Addit Manuf**, v. 9, n. 1, p. 12-34, 2022. Disponível em: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/3dp.2020.0331>. Acesso em: 19 maio 2024.

LOWKE, D.; DINI, E.; PERROT, A.; WEGER, D.; GEHLEN, C.; DILLENBURGER, B. Particle-bed 3D printing in concrete construction – Possibilities and challenges. **Cement and Concrete Research**, v. 112, p. 50-65, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000888461731267X?via%3Dihub>. Acesso em: 11 abr. 2024.

MADEIRA, F.; VALIO, W. V. **Nova Carta à Cidade de Goiás**. IPHAN: Brasília – DF, 2007.

MCA - Mario Cucinella Architects. TECLA – Technology and Clay: The first eco-sustainable housing prototype 3D printed from raw earth, [2020?]. Disponível em: <https://www.mcarchitects.it/en/projects/tecla-technology-and-clay>. Acesso em: 14 nov. 2023.

PACILLO, G. A.; RANOCCHIAI, G.; LOCCARINI, F.; FAGONE, M. Additive manufacturing in construction: A review on technologies, processes, materials, and their applications of 3D and 4D printing. **Mat Design Process Comm**, v. 3, n. e253, p. 1- 7, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mdp2.253>. Acesso em: 13 mar. 2024.

PAIVA, T. N.; NOGUEIRA, C. C. Estudo comparativo das principais tecnologias de impressão 3D no Brasil. **JNT-Facit Business And Technology Journal**, v. 1, n. 24, p. 193-212, 2021. Disponível em: <http://revistas.faculdadefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/901>. Acesso em: 16 nov. 2023.

PASCO, J.; Lei, Z.; ARANAS, C. J. Additive Manufacturing in Off-Site Construction: Review and Future Directions. **Buildings**, v. 12 n. 1, p. 1 - 24,

2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/1/53>. Acesso em: 20 nov. 2023.

PEREIRA, G. R.; GASI, F.; LOURENÇO, S. R. Review, Analysis, and Classification of 3D Printing Literature: Types of Research and Technology Benefits. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 6, p. 167-187, 2019. Disponível em: <https://ijaers.com/detail/review-analysis-and-classification-of-3d-printing-literature-types-of-research-and-technology-benefits/>. Acesso em: 18 nov. 2023

PRASAD, K.V; VASUGI, V; KUMARAN, G. S. Application of 3D printing concepts in the Architecture Engineering and Construction (AEC) industry - A scientometric review. **Materials Today: Proceedings**, v. xxx, p. 1 – 8, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785323006971?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SHAKOR, P.; CHU, S. H; PUZATOVA, A.; DINI, E. Review of binder jetting 3D printing in the construction industry. **Progress in Additive Manufacturing**, v. 7, p. 643-669, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-021-00252-9>. Acesso em: 21 nov. 2023.

SILVA, F. D. de A. Arquitetura e as tecnologias de informação: da Revolução Industrial à Revolução Digital. Dissertação (Mestrado em Artes) - Instituto de Artes, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/115444>. Acesso em: 13 nov. 2023.

TAPARELLO, G. I. K. A industrialização da construção com terra através da impressão 3D. **MIX Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 87-92, 2016. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1651>. Acesso em: 28 jan. 2024.

CAPÍTULO 5

DO RIO AO RALO: UM ESTUDO SOBRE O CONSUMO E PERDA DE ÁGUA POTÁVEL EM AMBIENTES DOMÉSTICOS

Felipe Veloso de Paula

A crise global de água entrou em pauta na agenda global, durante a Conferência de Água, realizada pelas Nações Unidas (NU) em 2023. Este evento, realizado em março do mesmo ano, conhecido amplamente como –Conferência de 2023 para a Revisão Integral de Meio Termo da Implementação da Década das Nações Unidas para Ação sobre Água e Saneamento (2018–2028)–, evidenciou a urgência de uma ação global contra o desperdício de água e uso racionalizado do recurso.

Os recursos hídricos tornaram-se um vasto campo de discussões de proporções globais, visto que a pauta discorria sobre a disponibilidade global e a gestão inteligente deste recurso. Segundo a Convergancy (2023), –O mundo já perdeu quase um terço de seus ecossistemas de água doce desde 1970–. O estresse hídrico e a demanda por água são maiores do que a sua disponibilidade, sendo isso uma realidade que impacta bilhões de pessoas ao redor do mundo. O Relatório Mundial da ONU sobre o Desenvolvimento da Água 2021 (Unesco, 2021) estima que mais de 2 bilhões de pessoas vivam em países com cenários de estresse hídrico, enquanto cerca de 4 bilhões de pessoas enfrentam períodos de escassez de água durante, pelo menos, um mês ao longo do ano. Aproximadamente 1,6 bilhão de pessoas experimentam a es-

cashez —econômica— de água, já que, mesmo com sua disponibilidade, falta a infraestrutura necessária para o acesso adequado (Unesco, 2021).

O Brasil, mesmo com relativa abundância hídrica, enfrenta desafios importantes. O país observa um crescimento constante na demanda por água, especialmente em setores como o abastecimento urbano e a agricultura irrigada, que representam parcelas expressivas de consumo. A complexidade e interdependência das soluções de abastecimento são ampliadas pelo aumento da pressão sobre os mananciais e sistemas produtores de água em áreas urbanas densamente povoadas (Brasil, 2021).

Além disso, a gestão inadequada e as perdas de água ao longo do ciclo urbano têm impactos significativos na disponibilidade e eficiência do abastecimento. Nas residências, as perdas de água potável ocorrem principalmente devido a vazamentos em diferentes pontos do sistema de distribuição, desde a captação até o uso final. Esses vazamentos podem se originar em conexões mal ajustadas, tubulações antigas ou danificadas, válvulas defeituosas e dispositivos mal regulados.

Este texto se dividirá em quatro partes: 1) relacionada aos fatores de perda de água no processo do ciclo urbano da água, 2) a caracterização do uso doméstico da água potável, 3) como a adoção de equipamentos economizadores podem resultar em um uso inteligente da água em residências unifamiliares e, por fim, 4) reflexões sobre os benefícios agregados pelo uso dos equipamentos economizadores de água em residências. Desta maneira, este texto analisa a aplicabilidade dos equipamentos economizadores, como uma estratégia para o uso racional da água nas residências.

Para a condução desta pesquisa, foi realizada uma revisão da literatura utilizando fontes como Google Acadêmico, repositório da Universidade Federal de Goiás (UFG) e outras bases acadêmicas. Foram empregadas palavras-chave específicas, como “perdas de água em sistemas de abastecimento” e “uso da água em edificações residenciais urbanas”. A pesquisa limitou-se a artigos e dissertações publicados nos últimos 15 anos, resultando na seleção de estudos relevantes para a análise em questão.

1. FATORES PARA A PERDA DE ÁGUA

A demanda crescente por água, impulsionada pelo crescimento populacional, desenvolvimento econômico e mudanças nos padrões de consumo, exerce uma pressão contínua sobre os recursos hídricos (Unesco, 2021). No Brasil, segundo o Fundo das Nações Unidas para a Infância, (Unicef, 2023):

(...) na última década, o percentual de crianças e adolescentes sem acesso a banheiro e rede de esgoto havia passado de 56,2 em 2009, para 44,6%, em 2018, e sem acesso a água passou de 3,7% para 3,6% no mesmo período, segundo a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF). Mas, mesmo com a melhora nos índices gerais, a situação no país permanece crítica. Segundo dados de 2020, no Brasil, 3,5 milhões de crianças e adolescentes estão privados do acesso à água segura (3,5%) — ou seja, vivem em casas com água de poço, fonte ou nascente, ou não recebem água canalizada e têm apenas água da chuva ou sem procedência conhecida. Além disso, 21,3 milhões de meninas e meninos têm privação de saneamento (47%) — ou seja, vivem em casas com banheiro compartilhado ou fossa rudimentar, ou em casa sem banheiro ou com vala a céu aberto.

No Brasil, ainda se perpetuam muitos problemas com relação ao acesso tanto à água quanto ao saneamento básico, sendo fundamental a conscientização e políticas públicas que influenciem no uso de forma racional e consciente deste recurso. Conforme o relatório do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Prosab, 2006), o uso mais sustentável da água ocorreria com medidas que sanassem as deficiências encontradas no ciclo urbano da água¹. Essas deficiências, segundo o relatório, têm como principais fatores o lançamento de esgoto sem tratamento nos mananciais aquíferos, e a contaminação atmosférica devido à urbanização.

¹ O ciclo urbano da água refere-se à captação da água no meio hídrico, que segue para as Estações de Tratamento de Água (ETA) para ser tornar adequada à população, e depois é distribuída à população. Em seguida, é recolhida e tratada novamente para ser devolvida de forma segura à natureza.

Para Garcia (2011), Quadros 1 e 2, em relação ao problema da perda de água, considerando a escala de dimensão do abastecimento urbano de uma cidade, há uma perda considerável no sistema de distribuição classificado em perdas reais e perdas aparentes. As perdas reais são referentes aos vazamentos no sistema, desde a captação à distribuição, e as perdas aparentes são as ocorridas por falhas nas conexões.

Para reduzir as perdas de água no ciclo urbano, é essencial focar na otimização da infraestrutura. Isso inclui medidas como reparar vazamentos em tubulações de água bruta e aumentar a limpeza dos poços de sucção. Além disso, é importante minimizar extravasamentos e vazamentos estruturais durante o tratamento e armazenamento da água. Na fase de distribuição, a redução de vazamentos nas redes e ramais de descargas é fundamental. Outras possibilidades incluem a implementação de tecnologias de detecção de vazamentos em tempo real e a adoção de materiais mais resistentes e duráveis na construção de infraestrutura hidráulica. Sendo assim, percebe-se que um dos problemas da redução e racionalização da água é que, justamente durante o processo de captação da água, tratamento, distribuição e uso final da água, há fatores que resultam em perdas significativas de água, sendo o principal deles vazamentos que demoram a receber algum tipo de tratamento ou reparo.

Quadro 1 - Perdas reais por subsistema: Origem e Magnitude

| | SUBSISTEMA | ORIGEM | MAGNITUDE |
|----------------|------------------------|---|--|
| PERDAS FÍSICAS | Adução de água bruta | Vazamentos nas tubulações. Limpeza do poço de sucção | Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional |
| | Tratamento | Vazamentos estruturais Lavagem de filtros Descarga de lodo | Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional |
| | Reservação | Vazamentos estruturais Extravasamentos Limpeza | Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional |
| | Adução de água tratada | Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção Descargas | Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional |
| | Distribuição | Vazamentos na rede Vazamentos em ramais Descargas | Significativa, função do estado das tubulações e principalmente das pressões |

Nota: Considera-se perdido apenas o volume excedente ao necessário para operação.

Fonte: Garcia, 2011

Quadro 2 - Perdas aparentes por subsistema: Origem e Magnitude

| | ORIGEM | MAGNITUDE |
|-----------------------|-----------------------------------|--|
| PERDAS DE FATURAMENTO | Ligações clandestinas/irregulares | Podem ser significativas, dependendo de procedimentos cadastrais e de faturamento, manutenção preventiva, adequação de hidrômetros e monitoramento do sistema. |
| | Ligações não hidrometradas | |
| | Hidrômetros parados | |
| | Hidrômetros que submedem | |
| | Ligações inativas reabertas | |
| | Erros de leitura | |
| | Número de economias errado. | |

Fonte: Garcia, 2011

A eficiência hídrica ao longo de todo o ciclo, desde a captação até o uso final, é essencial não só para garantir o acesso contínuo à água, mas também para reduzir o impacto ambiental. As perdas no início do ciclo de abaste-

cimento não apenas comprometem a conservação desse recurso vital, mas também contribuem significativamente para a insustentabilidade e degradação dos ecossistemas aquáticos. Isso agrava a demanda por novas fontes de água e amplia os impactos associados à captação e uso desse recurso.

2. O USO DOMÉSTICO DA ÁGUA POTÁVEL

Há uma grande questão sobre se determinar uma quantidade mínima de água necessária para atender às demandas residenciais. No Brasil esse é um tema complexo e controverso, por envolver também variáveis como os aspectos sociais, culturais, regionais e econômicos. Isso porque há características diversas no consumo residencial, que levam em consideração o número de ambientes, tipos de quartos, tipo de imóvel, equipamentos instalados, presença de jardins, características da família, número de pessoas, renda e idade. Além disso, as condições climáticas de cada região podem interferir diretamente no padrão de comportamento e uso por estarem atreladas diretamente às variações de temperatura, chuvas e etc. Ademais é preciso levar em consideração o –preço da água–, que sofre variações conforme a situação e região (Garcia, 2011).

Outros autores como Heller e Pádua (2006), Tsutiya (2006), Santos (2011) e Pereira Filho *et al.* (2004) completam essas variáveis como: –1) Variações Temporais do uso do consumo de água; 2) Perfil do Local e 3) Administração do Sistema de Abastecimento. Esses fatores são fundamentais para entender e parametrizar o consumo de água em ambientes domésticos, contribuindo para a construção e exequibilidade de estratégias na gestão racional deste recurso, especialmente para o desenvolvimento de políticas públicas para essa finalidade (Dalmonica, 2014). Logo, essas variáveis fazem com que a ideia de uma cota de água mínima per capita ainda esteja em discussão, uma vez que não se entra em consenso quanto à garantia de que todos os cidadãos seriam beneficiados.

O consumo de água para uso doméstico foi analisado por Oliveira (2005) em duas casas unifamiliares em Palhoça - SC, nelas foi medido o consumo através da leitura de hidrômetros e comparado com dados fornecidos pela

companhia de água da cidade de Palhoça – SC, Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE. Os valores de consumo finais foram estimados considerando a frequência e duração de uso de cada aparelho, registrados por um período de 28 dias, o que permitiu estimar o consumo total das residências em 202,2 litros/pessoa por dia em uma casa e 147,9 litros/pessoa por dia na outra. Com base nessas informações, percebemos que cerca de 35% do consumo total se tratava de descargas de bacias sanitárias e lavagem de roupas, ou seja, de usos não potáveis.

Tabela 1 - Usos finais em duas residências unifamiliares localizadas em Palhoça-SC

| Tipo de uso | Residência 1 | | Residência 2 | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| | Consumo (Litros/pessoa por dia) | (%) | Consumo (Litros/pessoa por dia) | (%) |
| Chuveiros e banhos | 62,9 | 32,7 | 64,9 | 46,9 |
| Torneiras | 3,6 | 1,9 | 3,7 | 2,6 |
| Descarga na bacia sanitária | 58,3 | 30,3 | 36,3 | 25,9 |
| Lavagem de roupas | 11,9 | 6,2 | 11,7 | 8,3 |
| Lavagem de pratos | 53,8 | 28,0 | 19,2 | 13,7 |
| Outros | 1,6 | 0,8 | 4,4 | 3,1 |
| Total | 192,1 | 100 | 140,2 | 100 |

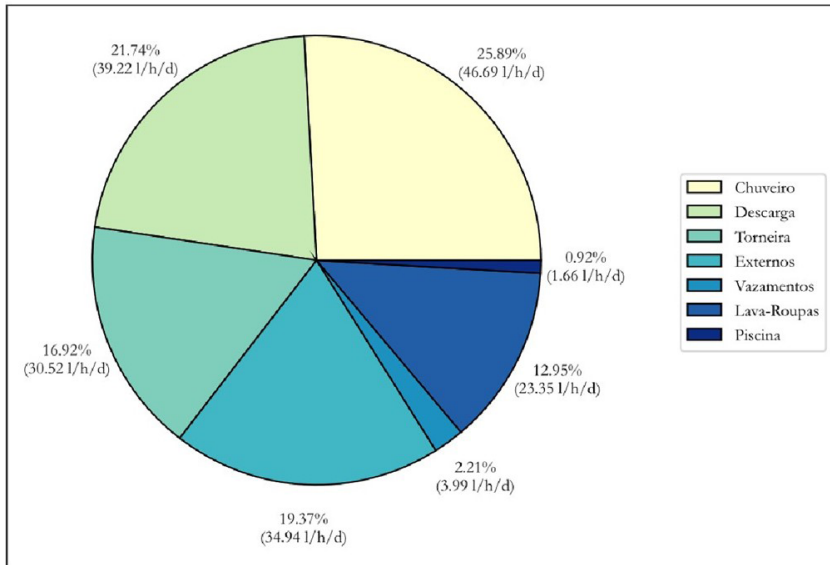
Fonte: Oliveira (2005)

Já nas residências analisadas por Proença (2007), na zona oeste de São Paulo, foram avaliadas o consumo diário de água por ponto de uso. Os resultados da pesquisa indicaram que o chuveiro representou 13,9% do consumo total, seguido pela torneira da pia (12,0%), máquina de lavar (10,9%), tanquinho (9,2%), torneira do tanque com saída para máquina de lavar (8,3%), caixa acoplada (5,5%), torneira do tanque (5,4%) e torneira do lavatório (4,2%), os outros usos somaram 30,6%.

Em uma pesquisa para determinação do perfil de consumo residencial através do uso de medição inteligente desenvolvida por Marzall e Nascimento (2023), foram analisadas 15 residências no bairro Jardim Nova Esperan-

ça, localizadas na cidade de Goiânia, Goiás. Nesta pesquisa foi observado o consumo residencial unifamiliar de água potável, por meio de um medidor inteligente na saída do reservatório superior. O bairro foi selecionado por ter em sua maioria famílias das classes socioeconômicas –C–, –D– e –E–, que representam 50% da população da cidade. O estudo foi realizado com dados coletados durante 12 meses. O equipamento utilizado para medir o consumo foi um –medidor inteligente, que se compõe de dois equipamentos: o primeiro é um hidrômetro do tipo ultrassônico da marca DIEHL, modelo Hydrus, com leitura de vazão mínima de 0,014 litro. segundo-1 (ou 10 litros. Hora -1) e saída para pulso indutivo a cada 100 ml (...)- (Marzall; Nascimento, 2023).

Gráfico 1 - Média diária de consumo de água de acordo com destinações finais em litros/habitante/dia



Fonte: Marzall e Nascimento (2023)

Na pesquisa observou-se que cada residência consumiu, em média, (usos internos e externos)² 541,11 litros de água potável por dia. Já o consumo individual per capita foi de 180,37 litros por dia. Também se notou que aos fins de semana o consumo de água potável nas bacias sanitárias acrescia cerca de 28% se comparado aos dias úteis. A partir disso, os autores observaram que os medidores inteligentes contribuíram para a obtenção de informações de consumo, como os prováveis usos da água, o consumo diário por residência, consumo médio por habitante, consumo por horário, e os aspectos relacionados ao uso em detrimento do clima.

Tais informações podem contribuir para uma melhor gestão da água nas residências, podendo assim reduzir o consumo de água potável em pontos específicos e incentivar os moradores a uma gestão eficiente do recurso hídrico em detrimento ao uso sustentável. Mas também, pelos aspectos de economia financeira que influenciam diretamente a este padrão de comportamento.

Assim, para as pesquisas avançarem e para que novas tecnologias surjam é crucial coletar dados sobre os usos finais de água em diferentes tipos de edifícios no Brasil, para desenvolver programas de uso racional adaptados à realidade de cada região do país (Proença, 2007). Nesse contexto, com os resultados de ambos os estudos, compreende-se que a análise dos usos finais da água potável permitirá o desenvolvimento de estratégias mais eficientes para a redução do consumo. Uma vez identificadas as perdas e/ou excessos, torna-se mais fácil e inteligente a adoção de soluções eficazes, bem como de novas tecnologias que possibilitem essa economia.

² Na pesquisa utilizada como referência, o autor do experimento realizou a instalação do medidor inteligente apenas na prumada do reservatório superior interno de cada residência. No caso dos usos de dispositivos externos, como torneiras de jardim e mangueiras, o consumo foi definido pela diferença entre o consumo lido no hidrômetro de entrada instalado pela concessionária, em relação ao hidrômetro instalado junto ao datalogger.

3. ESTRATÉGIAS PARA O USO RACIONAL DA ÁGUA: EQUIPAMENTOS ECONOMIZADORES DE ÁGUA

Os equipamentos economizadores de água são dispositivos específicos para atuar em residências, edifícios e ambientes domésticos, oferecendo soluções diretas e eficazes para reduzir o consumo de água em tarefas diárias. Para Lombardi (2012, p. 29), –A principal solução para o uso racional da água são os equipamentos economizadores. Tais equipamentos promovem a economia de água, independentemente da participação dos usuários–. Já para Barros (2018), esses equipamentos economizadores de água são uma resposta quanto à substituição de equipamentos convencionais. Assim, esses equipamentos reduzem as perdas e promovem o uso mais racional da água, auxiliando na perpetuação dos recursos hídricos.

Os equipamentos economizadores são dispositivos ou sistemas personalizados com a finalidade específica de reduzir o consumo de água em diferentes contextos e aplicações. Esses equipamentos são desenvolvidos com tecnologias que permitem a otimização do uso da água, seja por meio de mecanismos que controlam o fluxo e/ou vazão, como arejadores em torneiras e restritores de vazão em chuveiros, ou por meio de sistemas mais complexos, como bacias sanitárias com mecanismos de dupla descarga. Seu objetivo fundamental é promover a eficiência hídrica, minimizando o desperdício e contribuindo para a preservação desse recurso fundamental para a vida.

Conforme o relatório da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp, 2007), considerando, por exemplo, as descargas em banheiros, nota-se que, enquanto as bacias convencionais com caixas acopladas consomem em média 12 litros por descarga, as bacias de Vazão Dupla de Resíduos (VDR) reduzem esse consumo pela metade, para apenas 6 litros, resultando em uma economia de 50%. O mesmo padrão de economia é aplicado em bacias com válvulas bem reguladas.

Tabela 2 - Equipamentos economizadores

| Equipamento Convencional | Consumo | Equipamento Economizador | Consumo | Economia |
|---|--------------------|-----------------------------------|-------------------|----------|
| Bacia com caixa acoplada | 12 litros/descarga | Bacia VDR | 6 litros/descarga | 50% |
| Bacia com válvula bem regulada | 10 litros/descarga | Bacia VDR | 6 litros/descarga | 40% |
| Ducha (água quente/fria) - até 6 mca | 0,19 litros/seg | Restritor de vazão 8 litros/min | 0,13 litros/seg | 32% |
| Ducha (água quente/fria) - 15 a 20 mca | 0,34 litros/seg | Restritor de vazão 8 litros/min | 0,13 litros/seg | 62% |
| Ducha (água quente/fria) - 15 a 20 mca | 0,34 litros/seg | Restritor de vazão 12 litros/min | 0,20 litros/seg | 41% |
| Torneira de pia - até 6 mca | 0,23 litros/seg | Arejador vazão cte (6 litros/min) | 0,10 litros/seg | 57% |
| Torneira de pia - 15 a 20 mca | 0,42 litros/seg | Arejador vazão cte (6 litros/min) | 0,10 litros/seg | 76% |
| Torneira uso geral/tanque - até 6 mca | 0,26 litros/seg | Regulador de vazão | 0,13 litros/seg | 50% |
| Torneira uso geral/tanque - 15 a 20 mca | 0,42 litros/seg | Regulador de vazão | 0,21 litros/seg | 50% |
| Torneira uso geral/tanque - até 6 mca | 0,26 litros/seg | Restritor de vazão | 0,10 litros/seg | 62% |
| Torneira uso geral/tanque - 15 a 20 mca | 0,42 litros/seg | Restritor de vazão | 0,10 litros/seg | 76% |
| Torneira de jardim - 40 a 50 mca | 0,66 litros/seg | Regulador de vazão | 0,33 litros/seg | 50% |
| Mictório | 2 litros/uso | Válvula automática | 1 litros/seg | 50% |

Fonte: Adaptado de Sabesp (2024)

Na Tabela 2, nota-se que no uso de duchas, os restritores de vazão demonstram uma redução significativa no consumo de água, especialmente em locais com pressão de água entre 15 e 20 metros de coluna d'água. Nestes casos, a adoção desses dispositivos pode resultar em uma economia de até 62% no consumo de água. Além disso, as torneiras também têm um impacto significativo no consumo de água. A substituição de torneiras convencionais por torneiras com restritores de vazão constante pode reduzir o consumo em até 76%, segundo a Sabesp (2007).

4. MEDIDORES E SENSORES INTELIGENTES

De acordo com Côrte (2020), os medidores inteligentes de água, Figura 1, funcionam semelhante aos medidores analógicos, mas com a distinção de converterem as leituras em dados digitais, úteis para computadores ou servidores.

Figura 1 - Medidores inteligentes de consumo de água baseados em IoT – SMART Modular Technologies



Fonte: Paiva, 2019

Segundo Côrte (2020), estes medidores são conectados a redes locais, caracterizando-se como dispositivos IoT (refere-se à integração da tecnologia de medidores inteligentes com recursos da Internet das Coisas (IoT)). Sua capacidade de monitoramento em tempo real permite identificar padrões de consumo, detectar vazamentos rapidamente e compreender o uso da água em diferentes ambientes. Sua atuação se concentra em: 1) Detecção de Anomalias e Alerta de Vazamentos; 2) Análise de Dados para Otimização e Toma-

da de Decisão; 3) A coleta e análise dos dados de consumo ao longo do tempo e 4) Controle Automatizado e Conscientização dos Ocupantes. Além do mais, ao fornecer dados claros sobre o consumo, promovem a conscientização dos usuários, incentivando práticas sustentáveis no uso da água.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão eficiente da água potável é um desafio crucial em meio aos crescentes problemas de escassez hídrica global. Com a redução das perdas nos sistemas de captação, tratamento e distribuição de água devem ser vistos como prioridade, visando todos e quaisquer tipos de perdas. Logo, a implementação de tecnologias inovadoras, como sistemas de detecção de vazamentos baseados em Internet das Coisas (IoT), pode desempenhar um papel crucial. Ao adotar mecanismos capazes de identificar e corrigir vazamentos em tempo real, os gestores de sistemas hídricos podem minimizar significativamente as perdas físicas de água.

Paralelamente, a aplicação de políticas públicas, como: campanhas de conscientização; educação ambiental; tarifação progressiva para que consumidores que utilizam menos água paguem tarifas mais baixas possam auxiliar na redução destes impactos. Assim como subsídios ou incentivos fiscais para a instalação de equipamentos economizadores de água; regulamentações que exigem a incorporação de tecnologias de eficiência hídrica em novas construções e reformas e investimentos em sistemas avançados de monitoramento de vazamentos em redes de distribuição, para identificar e corrigir rapidamente problemas que resultem em perdas de água; dentre outras medidas que incentivam práticas sustentáveis e aperfeiçoem a infraestrutura de distribuição são fundamentais para enfrentar quaisquer tipos de perdas, decorrentes destes problemas ou de outros como submedição e fraudes.

No contexto brasileiro, onde a variabilidade de fatores influencia diretamente o consumo de água, a pesquisa científica desempenha um papel crucial na definição de padrões de consumo. Os estudos de caso aqui mencionados são essenciais para fundamentar políticas públicas, estratégias de conscientização e novas tecnologias. A percepção detalhada desses padrões

de uso proporciona uma visão real sobre os hábitos de consumo, permitindo identificar áreas e pontos críticos onde ocorrem desperdícios ou má utilização de água potável.

A longo prazo a adoção de equipamentos economizadores, integrada a sistemas de medição inteligente e Internet das Coisas, pode permitir ajustes ainda mais precisos no uso final da água. Ao identificar na raiz do problema possíveis pontos de má utilização, manutenção ou ajustes finos, a combinação dessas tecnologias e estratégias resulta em uma ação proativa para a gestão hídrica, proporcionando um monitoramento em tempo real do consumo de água em diferentes áreas da casa. A combinação de equipamentos economizadores e medidores inteligentes pode se tornar um nicho de mercado promissor, revolucionando a gestão da água, pois possibilita a detecção precoce de problemas e uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos.

Com medições mais precisas e a possibilidade de ajustar hábitos de consumo, os moradores conseguem reduzir significativamente suas contas de água. Esse impacto positivo na despesa relacionada à água libera recursos financeiros que podem ser direcionados para outras necessidades do orçamento doméstico. É bom para o planeta e financeiramente atraente para as pessoas. Vale ressaltar a necessidade de investimentos contínuos em pesquisas nesta área, para garantir que os benefícios econômicos e ambientais proporcionados por essas tecnologias não se restrinjam a determinadas camadas da população, mas alcancem a todos de forma equânime.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ana - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Ministério do Desenvolvimento Regional. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021: relatório pleno. Brasília - DF: Ana - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021.** Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/apresentacao>. Acesso em: 20 nov. 2023.

BARROS, Matheus Henrique Souza. **Dispositivos Poupadores de Água em um Sistema Predial em Ambiente Universitário:** análise

da viabilidade. 2018. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/4811/1/Dispositivos%20poupadores%20de%20%C3%A1gua%20em%20um%20ambiente%20universit%C3%A1rio%3A%20an%C3%A1lise%20da%20viabilidade.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2023.

CÔRTE, Pedro Alexandre Barradas da. **Sistema de gerenciamento autônomo de consumo de água para casas inteligentes utilizando IoT**. 2020. 93 f. (Monografia)- Curso de Ciência da Computação, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/218302>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CONSERVANCY, The Nature (org.). **Água doce para a vida na Terra**. 2023. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/noticias/agua-para-a-vida-na-terra-conferencia-onu/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

DALMÔNICA, Alice Henrique. **Análise de fatores influenciadores do consumo de água em Uberlândia: o caso do Setor Sul**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

GARCIA, Ana Paula Arruda Almeida. **Fatores associados ao consumo de água em residências de baixa renda**. 122 p. il. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

HELLER, Leo; PÁDUA, Valter Lucio de. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 1 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

LOMBARDI, Lucas Ruiz. **Dispositivos Poupadores de água em um sistema predial: Análise da viabilidade técnico-econômica de implementação no instituto de pesquisas hidráulicas**. Monografia (Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Porto Alegre, 2012.

MARZALL, Vinicius Otto de Aguiar Ritzmann; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira (2023). **Determinação do perfil de consumo residencial de água potável apoiado em tecnologia de medição inteligente.** Revista de Gestão de Água da América Latina, 20, e3.

OLIVEIRA, Sulayre Mengotti de. **Aproveitamento da água da chuva e reuso de água em residências unifamiliares: estudo de caso em Palhoça** – SC. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PAIVA, Fernando. Sabesp adota medidores inteligentes de consumo de água. **Mobile Time**, Brasil, 22 nov. 2019. Disponível em: <https://www.mobiletime.com.br/noticias/22/11/2019/sabesp-adota-medidores-inteligentes-de-consumo-de-agua/>. Acesso em: 12 mar. 2023.

PEREIRA FILHO, A. J.; RODRIGUES L. C. T.; GINEZ W. **Impacto das condições meteorológicas no consumo de água na Região Metropolitana de São Paulo.** In: Seminário de Planejamento Urbano e Desastres Naturais e Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza, 2004. Anais... Fortaleza: CBMet, 2004.

PROENÇA, Lúcio Costa; GHISI, Eneidir. **Usos finais de água potável em edifícios de escritórios localizados em Florianópolis.** 2007. 67 f. Relatório de Iniciação Científica - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/node/176>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

PROSAB. **Uso Racional da Água em Edificações. Tecnologias de Segregação e Tratamento de Esgotos Domésticos na Origem, Visando a Redução do Consumo de Água e da Infraestrutura de Coleta, Especialmente nas Periferias Urbanas.** Instituições Participantes UFES, UFSC, UNICAM, IPT. Aparelhos Sanitários Economizadores. IPT. Ricardo Franci Gonçalves (Coord.). Vitória – ES. 1ª Edição. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/images/apoio>>

SOBRE OS AUTORES



Felipe Veloso de Paula

<http://lattes.cnpq.br/2312933208454626>

Nascido em Goiânia - GO, Arquiteto e Urbanista pela Universidade Federal de Goiás (2019). Mestrando no Programa de Pós-Graduação Projeto e Cidade e também cursando Agronomia, ambos na mesma instituição. Desenvolve pesquisas na área de planejamento urbano sustentável, buscando integrar conhecimentos de arquitetura e agronomia para criar soluções urbanas inovadoras e resilientes.

Larisse Correia de Sousa Bressan

<http://lattes.cnpq.br/2902085570608606>

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Estadual de Goiás (2006), especialista em Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística pela Universidade de Brasília (2011) e mestranda no PPGProcidade - FAV/UFG onde pesquisa sobre o assistência técnica para construção e reforma de habitações de interesse social.



**Lucas Italo Silva Ribeiro**

<http://lattes.cnpq.br/4543365543704500>

Arquiteto e Urbanista pela Universidade Federal de Goiás (2022), mestrando no Programa de Pós-Graduação Procidade - FAV/UFG. É integrante do Coletivo de Ações Poéticas Urbanas (Capu) e dos grupos de pesquisa: Tecnologia da Arquitetura para Ciências Aplicadas e Agrárias (Taca), Experiências contravisuais: interseções entre arte, memória e cidade e Núcleo Interdisciplinar de Patrimônios, Artes e Memórias (Nipam).

Maria Eduarda da Costa Alves

<http://lattes.cnpq.br/8419829554093005>

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal de Goiás (2019), especialista em Arquitetura Hospitalar pela Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein (2021) e mestranda pelo programa Projeto e Cidade da FAV - UFG, na temática de análise de eficiência energética das edificações. Atua em pesquisas na área de projetos para saúde, eficiência energética e conforto das edificações.



**Sarah Yasmin Pereira Marques**

<https://lattes.cnpq.br/0803213290727291>

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Goiás (2023), mestranda no PPG Procidade - FAV/UFG com o tema Gêmeos Digitais e Internet das Coisas no ambiente construído. Integrante do grupo de pesquisa Laboratório do Ambiente (LabAm/UFG).

SOBRE O E-BOOK

Tipografia: Finlandica, Area Normal

Publicação: Cegraf UFG
Câmpus Samambaia, Goiânia,
Goiás. Brasil. CEP 74690-900
Fone: (62) 3521-1358
<https://cegraf.ufg.br>

PPGPROCIDADE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PROJETO E CIDADE

FAV

FACULDADE DE
ARTES VISUAIS



UFG

UNIVERSIDADE
FEDERAL DE GOIÁS