

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA

RODOLFO BESENBRUCH

**SUSTENTABILIDADE E OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS EM HABITAÇÃO SOCIAL:
ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HÍDRICA**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Hídrica

Área de concentração: Gestão de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dra. Valquíria Claret dos Santos

Corientador: Dr. Adriano Bastos

Itajubá – MG

Dezembro de 2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus filhos, esposa, pais e irmãs.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha orientadora, Profa. Dra. Valquíria Claret dos Santos, pela enorme paciência e ensinamentos.

Ao meu amigo e veterano Dr. Adriano Bastos por me acompanhar em toda a minha trajetória acadêmica e profissional.

Aos Professores do Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica. Obrigado pela paciência, ensinamentos e compreensão durante todo o curso.

A Universidade Federal de Itajubá, pelo ensino de excelência durante todos seus 111 anos, o qual é estendido a todos os servidores e prestadores de serviço, tudo que conquistamos em nosso caminho acadêmico é devido a dedicação de todos vocês, obrigado.

RESUMO

BESENBRUCH, R. (2024), SUSTENTABILIDADE E OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS EM HABITAÇÃO SOCIAL: ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HÍDRICA, Itajubá, 71p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá.

A construção de casas mais eficientes é imprescindível para o cumprimento das metas definidas pelas diversas Conferências sobre Meio Ambiente e Sustentabilidade. Planejar residências visando o menor consumo energético e maior aproveitamento dos recursos disponíveis, além de ambientalmente necessário, pode tornar as construções mais lucrativas. Nesse contexto, o uso de tecnologias na construção civil como placas pré-moldadas, painéis fotovoltaicos, aproveitamento energético termo solares e reuso de água são utilizadas no trabalho como alternativas para solucionar esses desafios ambientais, econômicos e técnicos. O estudo consiste na análise de uma habitação de 60m², acomodando 4 pessoas, incluindo o uso das tecnologias citadas acima e limite orçamentário que se enquadre no programa Minha Casa Minha Vida, com a finalidade de comparação técnica e econômica com a construção civil convencional. Os resultados obtidos apresentam o valor global de construção 12% maior que o de construção convencional, entretanto a casa eficiente já vem com as tecnologias que permitem um ganho financeiro ao longo dos anos, visto que o valor de energia elétrica e o valor de água da concessionária será bem abaixo do que a residência tradicional. Contudo maior ganho se dá no meio ambiente, pois as tecnologias implantadas mitigam consideravelmente o consumo de água e energia e ajudam a matriz energética a se descarbonizar. Ao se analisar a água envolvida no processo de construção é notado uma diferença de 16 L/m² em relação ao método tradicional.

Palavras-chave: casa eficiente, energia, água, viabilidade econômica.

ABSTRACT

BESENBRUCH, R. (2024), SUSTAINABILITY AND RESOURCE OPTIMIZATION IN SOCIAL HOUSING: ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR ENERGY AND WATER EFFICIENCY, Itajubá, 71p. Master's Thesis – Institute of Natural Resources, Federal University of Itajubá.

The construction of more efficient houses is essential to meet the goals defined by the various Conferences on Environment and Sustainability. Planning residences aiming at lower energy consumption and greater use of available resources, in addition to being environmentally necessary, can make buildings more profitable. In this context, the use of technologies in civil construction such as pre-molded plates, photovoltaic panels, thermal solar energy use and water reuse are used at work as alternatives to solve these environmental, economic and technical challenges. The study consists to analyze of a 60m² house, accommodating 4 people, including the use of the technologies mentioned above and a budget limit that fits the “House Green and Yellow” program, with the purpose of technical and economic comparison with conventional civil construction. The results obtained show the overall construction value 12% higher than that of conventional construction, however the efficient house already comes with technologies that allow a financial gain over the years. Bear in mind that the value of electricity and the value of water from the concessionaire will be well below that of the traditional residence. However, greater gain occurs in the environment, as the technologies implemented drastically mitigate water and energy consumption and help the energy matrix to decarbonize. When analyzing the water involved in the construction process, a difference of 16 liters is noticed in relation to the traditional method.

Keywords: efficient house, energy, water, feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Autores mais citados mundialmente.....	18
Figura 2. Principais palavras-chave.....	18
Figura 3. Autores mais citados mundialmente. . .	22
Figura 4. Placas Alveolares Pré-Moldadas.....	28
Figura 5. Processo de fabricação das placas.....	30
Figura 6. Coletor de Placa plana.....	36
Figura 7. Variação da posição do sol com as estações do ano..	40
Figura 8. Equações da área de captação de água da chuva.....	43
Figura 9. Teste de esclerômetro.....	48
Figura 10. Teste de compressão simples.	49
Figura 11. Modelo de construção por placas pré-moldadas.	52
Figura 12. Orçamento do sistema fotovoltaico.....	55
Figura 13. Orçamento do sistema de reuso de água. Fonte: Hidrotec.	59
Figura 14. Fluxo de caixa projetado.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos construtivos.....	19
Tabela 2. Eficiência energética e reúso.	23
Tabela 3. Tipos de placas pré moldadas	29
Tabela 4. Traço do concreto.	31
Tabela 5: Comparativo entre tipos de construtivos.	34
Tabela 6. Parâmetros de desempenho de sistema fotovoltaico	39
Tabela 7. Parâmetros bioquímicos	43
Tabela 8. Coeficiente de runoff.	44
Tabela 9. Comparação entre métodos Construtivos.	47
Tabela 10. Volume de água quente por dia.	50
Tabela 11: Vantagens Competitivas.....	51
Tabela 12. Pontos de teste de resistência pelo esclerômetro em Mpa.	51
Tabela 13. Comparativo entre Métodos Construtivos.	52
Tabela 14. Volume de água quente por dia.	53
Tabela 15. Volume de armazenamento.	53
Tabela 16. Custos resultantes da pesquisa de mercado.	54
Tabela 17. Especificações e custos.....	54
Tabela 18. Especificações do Sistema Fotovoltaico.....	54
Tabela 19. Valores resultantes da pesquisa de mercado.....	55
Tabela 20: Série Histórica Pluviométrica de Atibaia	57
Tabela 21: Método de Rippl.....	58
Tabela 22. Custo final.....	59
Tabela 23. Fluxo de caixa projetado.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CO ₂	Dióxido de carbono
CUB	Custo Unitário Básico
ETC	coletor solar de tubo evacuado
FPC	coletor solar de placa plana
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
LED	Light Emitting Diode
NBR	Norma Brasileira
PCVA	Programa Casa Verde e Amarela
SAS	Sistema de Aquecimento de Água
SFV	Sistema Fotovoltaico
SINAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	HIPÓTESE.....	16
1.3	OBJETIVOS.....	16
1.3.1	Objetivos Específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.....	17
2.2	PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO.....	27
2.3	ÁGUA DE PROCESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	33
2.4	APROVEITAMENTO ENERGÉTICO TERMO SOLAR.....	34
2.5	GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	37
2.6	REÚSO DE ÁGUA.....	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
3.1	ANÁLISE DO USO DE PLACAS PRÉ MOLDADAS.....	46
3.2	DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA TERMO SOLAR.....	49
3.3	DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	50
3.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REUSO DE ÁGUA.....	50
4	RESULTADOS.....	51
4.1	PLACAS PRÉ MOLDADAS.....	51
4.2	TERMO SOLAR.....	53
4.3	FOTOVOLTAICO.....	54
4.4	REUSO DE ÁGUA.....	56
4.5	CUSTO FINAL E ANÁLISE.....	59
5	CONCLUSÕES.....	61
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

7	ANEXOS	70
7.1	ORÇAMENTO BELOFORTE.....	70
7.2	ORÇAMENTO JET CASA.....	71
7.3	ORÇAMENTO HABITAR	73

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO

As discussões sobre eficiência energética, desenvolvimento sustentável e questões ambientais têm ganhado destaque em todo o mundo. Desde a década de 1970 Conferências Globais têm sido fundamentais para traçar metas, criar marcos legais e planejar o acesso universal a um desenvolvimento sustentável. A Organização das Nações Unidas (ONU), em suas conferências ambientais, estabeleceu pilares cruciais para a governança ambiental global, abordando temas como sustentabilidade, mudanças climáticas e conservação dos recursos naturais. Esses eventos se tornaram a base para políticas e legislações ambientais nacionais e internacionais, delineando uma trajetória de compromissos progressivos que orientam os países na construção de um futuro sustentável (Moore e Pubantz, 2022). Dentre os principais marcos legais estabelecidos ao longo do tempo por essas conferências, pode-se citar:

1. Declaração de Estocolmo (1972): A Conferência de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano, realizada na Suécia, foi o primeiro evento global dedicado exclusivamente às questões ambientais. Este evento culminou na Declaração de Estocolmo e no Plano de Ação, que estabeleceram 26 princípios defendendo a proteção ambiental como prioridade global. Além disso, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), organismo que desde então monitora e promove políticas ambientais em âmbito global.
2. Relatório Brundtland (1987): Conhecido oficialmente como “Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*), introduziu o conceito de “desenvolvimento sustentável”, definido como o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações. Este conceito tornou-se central nas discussões ambientais e nas estratégias de desenvolvimento global subsequentes.
3. Cúpula da Terra na Rio-92 (1992): A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, marcou um ponto de inflexão ao definir documentos fundamentais como a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, com seus 27 princípios que incluem o Princípio da Precaução e o conceito de Responsabilidade Comum. Essa conferência gerou ainda a Agenda 21, um plano de ação global para o desenvolvimento sustentável, e três convenções internacionais: a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança

Climática (UNFCCC), que viria a embasar o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris; a Convenção sobre Diversidade Biológica, que visa a conservação da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais; e a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação.

4. Protocolo de Kyoto (1997): Durante a terceira Conferência das Partes (COP3) da UNFCCC, foi estabelecido o Protocolo de Kyoto, que determinou metas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa para os países industrializados. Este foi o primeiro compromisso vinculante internacional com foco na mitigação das mudanças climáticas, entrando em vigor em 2005 e, posteriormente, sendo complementado pelo Acordo de Paris.
5. Rio+20 (2012): A Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada novamente no Rio de Janeiro, culminou no documento “O Futuro que Queremos” (*The Future We Want*), que preparou o caminho para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), adotados em 2015 como a principal agenda de desenvolvimento global até 2030. A conferência reforçou a integração do desenvolvimento sustentável nas políticas públicas globais, incentivando ações coordenadas entre os países.
6. Acordo de Paris (2015): Durante a COP21, foi firmado o Acordo de Paris, um tratado global no qual 196 países se comprometeram a manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em comparação com os níveis pré-industriais, com esforços para limitar o aumento a 1,5°C. Este acordo exige que cada país submeta as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), que contêm as metas de redução de emissões e outras ações de adaptação e mitigação climática.
7. COP26 em Glasgow (2021): Embora não tenha gerado um novo tratado, a COP26 consolidou compromissos para reduzir gradualmente o uso do carvão, implementar regulamentações mais rigorosas sobre os mercados de carbono e promover financiamento climático para países em desenvolvimento. Foi também a primeira vez que o uso de combustíveis fósseis foi explicitamente citado em uma declaração final da COP.

Esses marcos legais refletem o desenvolvimento de um consenso global sobre a urgência de adotar práticas sustentáveis e coordenar esforços multilaterais para enfrentar a crise climática e ambiental. Desde Estocolmo até Glasgow, as conferências têm construído uma base sólida para ações nacionais e internacionais voltadas à sustentabilidade, delineando os desafios e as responsabilidades compartilhadas entre os países. Para alcançar as metas estabelecidas nesses

encontros, é necessário reavaliar a forma como enxergamos nossos limitados recursos naturais. A adoção do conceito de cidades sustentáveis – também conhecidas como cidades verdes ou inteligentes – surge como um ponto de partida essencial para atingir esse objetivo (Moore e Pubantz, 2022).

Conforme Weiss *et al.* (2017), a geração de novas formas de energia, a preservação dos recursos naturais, o desenvolvimento de transportes eficientes e os avanços em educação, saúde, segurança e alimentação representam alguns dos maiores desafios para os próximos anos. Nesse contexto, a residência familiar, como unidade básica de uma cidade, precisa refletir os mesmos conceitos de eficiência que se espera no âmbito urbano mais amplo. Assim, planejar, projetar e construir uma residência autossuficiente ou eficiente torna-se essencial para viabilizar uma cidade mais sustentável e alinhada aos princípios de responsabilidade ambiental.

O Programa Habitacional Minha Casa Minha Vida vigente desde o ano de 2009 (BRASIL, 2009), foi substituído em 13 de janeiro de 2021 pelo Programa Habitacional Casa Verde e Amarela (BRASIL, 2021). Esse programa habitacional introduziu como requisito medidas de eficiência energética, como a inserção de um modelo de geração de energia elétrica e sistema de aquecimento de água, conforme transcrito a seguir.

- 2.2.5 Eficiência Energética (Requisito Obrigatório - Deve ser previsto um dos sistemas alternativos de geração de energia).
 - Sistemas alternativos de geração de energia
 - Os projetos do empreendimento e edificações devem prever estratégias para a redução do consumo de energia e propiciar, quando possível, a utilização de fontes renováveis de energia (a energia solar, eólica, de biomassa, oceânica, e outras que vierem a ser reconhecidas e integrem o Sistema Elétrico Brasileiro).
 - Os sistemas alternativos de geração de energia devem ser instalados nos empreendimentos de forma complementar às redes de distribuição existentes no município.
 - Sistema Fotovoltaico (SFV)
 - Instalação de Sistema Fotovoltaico (SFV), com geração de energia elétrica a partir da radiação solar, observando os seguintes itens:
 - os módulos fotovoltaicos e os inversores fotovoltaicos deverão possuir classificação A pelo Inmetro de eficiência energética;

- instalação por meio de microgeração distribuída no sistema de compensação de energia elétrica, de acordo com a Resolução ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, e suas alterações;
 - possuir capacidade de geração de energia elétrica mínima correspondente a 1.200 kWh/ano por unidade habitacional, comprovado a partir da análise por simulação do projeto elétrico.
- Sistema de Aquecimento de Água (SAS)
 - Instalação de Sistema de Aquecimento de Água (SAS), com geração de energia por meio de energia solar térmica.

Em janeiro de 2023, após o início do terceiro mandato do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, o Programa Habitacional voltou a se chamar Minha Casa Minha Vida. O Programa manteve os requisitos de eficiência hídrica e energética, que visam reduzir o impacto ambiental das novas construções e diminuir os custos para as famílias, promovendo habitações mais acessíveis e sustentáveis no Brasil. Em termos de energia, prioriza-se a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica para geração de energia limpa e a adoção de eletrodomésticos e equipamentos de iluminação de alta eficiência para reduzir o consumo energético. No aspecto hídrico, incentiva-se a implementação de sistemas de captação e reutilização de águas pluviais para usos não potáveis, como irrigação e limpeza, além da instalação de dispositivos economizadores de água em torneiras, chuveiros e descargas (BRASIL, 2023).

Com o déficit habitacional no Brasil ultrapassando 6 milhões de domicílios e as condições precárias em áreas urbanas intensificando a desigualdade social, incorporar tecnologias de eficiência energética e hídrica nas novas moradias representa uma oportunidade de grande impacto. Mesmo pequenas porcentagens de novas construções com eficiência energética poderiam contribuir significativamente para a economia de recursos naturais e para a sustentabilidade das cidades brasileiras. A instalação de painéis solares e sistemas de reaproveitamento de água, por exemplo, não só melhora a infraestrutura das habitações, mas também reduz os custos operacionais para os moradores, ao diminuir contas de luz e água. Para os investidores imobiliários, essa valorização dos imóveis também se torna uma vantagem, pois residências sustentáveis são cada vez mais demandadas e agregam valor ao patrimônio (Lima, 2021).

Nesse contexto, a construção modular e pré-fabricada surge como uma alternativa eficiente e sustentável na construção civil, atendendo rapidamente à essa demanda habitacional. Ao fabricar componentes como paredes e pisos em ambientes controlados, esse método oferece maior precisão, menor desperdício de materiais e menos necessidade de mão de obra no local,

o que reduz o tempo total de construção em até 50%, gerando uma economia significativa, especialmente em projetos padronizados. Por se tratar de um ambiente controlado, o processo fabril desses módulos chega a reduzir o consumo de água em mais de 30% em comparação com os métodos convencionais, uma economia obtida pela possibilidade de reciclagem da água utilizada em processos industriais, assim como na limpeza de um canteiro de obra convencional (Tavares, V *et al.*, 2021). Embora seja um método menos adaptável a projetos complexos que exigem personalização, a construção modular se destaca em setores que priorizam velocidade e sustentabilidade, como no caso de grandes empreendimentos habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida.

Comparar as vantagens e limitações da construção modular em relação ao método convencional é essencial para identificar as aplicações mais adequadas para cada abordagem. A construção modular, ao oferecer maior rapidez na execução, redução de resíduos e melhor controle de qualidade, apresenta um potencial significativo para transformar a qualidade de vida em comunidades de baixa renda. Além disso, sua eficiência no uso de materiais e recursos pode aliviar a pressão sobre o meio ambiente, contribuindo para a preservação dos recursos naturais.

Expandir o uso de tecnologias modulares em habitações populares não apenas promove uma solução viável para a crise habitacional, mas também fortalece iniciativas voltadas à sustentabilidade e à economia circular. Essa abordagem tem o potencial de se consolidar como uma estratégia central em futuras políticas públicas, garantindo acesso à moradia digna, acessível e ambientalmente responsável, especialmente em cenários de urbanização crescente e recursos limitados.

1.1 JUSTIFICATIVA

A construção de casas mais eficientes é uma medida essencial para atender às metas de governança ambiental, contribuindo diretamente para os objetivos de descarbonização e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Projetar residências que priorizem baixo consumo energético e o uso otimizado de recursos naturais não apenas promove benefícios ambientais, mas também agrega valor econômico. Durante a fase de construção, essas práticas podem reduzir o uso de materiais e diminuir o tempo de execução das obras, o que torna as construções mais lucrativas e valorizadas no mercado imobiliário. Além disso, a sustentabilidade aplicada nas edificações resulta em economia nas despesas essenciais para os futuros moradores, como água, energia e até o IPTU, criando um atrativo econômico significativo.

1.2 HIPÓTESE

A inserção de técnicas e tecnologias para a eficiência hídrica e energética em uma residência do Programa Minha Casa Minha Vida possui viabilidade econômica?

1.3 OBJETIVOS

Pretende-se avaliar quantitativamente e qualitativamente a inserção de técnicas e tecnologias de efficientização hidroenergética em uma unidade básica familiar do Programa Minha Casa Minha Vida, com vistas a determinar seu impacto no custo de projeto e sua viabilidade técnica e econômica.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a eficiência da utilização de placas pré-moldados versus convencional na construção civil;
- Levantamento o recurso água de forma comparativa entre a utilização de blocos pré-moldados e o método convencional;
- Estudar as opções e dimensionar um sistema de aquecimento termo solar;
- Estudar as opções e dimensionar um sistema de geração fotovoltaica;
- Estudar e dimensionar um sistema de água de reuso de água;
- Avaliar tecnicamente e economicamente a inserção das tecnologias de efficientização com vistas a determinar o impacto no custo e o ganho no investimento.

Capítulo 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um projeto residencial eficiente precisa priorizar processos construtivos que reduzam custos, acelerem a execução e economizem recursos. Nesse contexto, as estruturas pré-moldadas ganham destaque, pois utilizam menos insumos e diminuem o tempo de obra. Além disso, incorporar tecnologias que aumentem a eficiência hídrica e energética é essencial para garantir o bem-estar dos moradores e proporcionar economia financeira. Para promover essa eficiência hidroenergética em residências urbanas, diversas estratégias são viáveis, tais como, o posicionamento da construção para otimizar a exposição solar, o aumento do pé-direito para melhorar o conforto térmico e o uso estratégico de portas e janelas para criar corredores de vento, aumentando a ventilação natural. Outras opções incluem a instalação de jardins de inverno com elementos de resfriamento, como cascatas de água, para umidificar o ambiente, vedação reforçada de portas e janelas, e a utilização de energia solar e eólica para aquecimento de água e geração de eletricidade. Também a captação de águas pluviais e a reutilização de águas residuárias para fins não potáveis são também soluções cada vez mais acessíveis (Clements-Croome, 2005; Kamali *et al.*, 2023).

Embora algumas dessas estratégias possam ser desafiadoras em residências menores, como as do programa Minha Casa Minha Vida, tecnologias como aquecimento termo solar de água e geração de energia elétrica por meio de painéis solares já são amplamente viáveis. Além disso, sistemas simplificados de captação e armazenamento de água de chuva vêm ganhando espaço e já são comuns em muitas residências, tornando esses projetos mais sustentáveis e acessíveis.

2.1 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

O método de revisão bibliométrica permite uma análise quantitativa e qualitativa de trabalhos científicos, ou seja, é uma metodologia que utiliza técnicas quantitativas para analisar a produção científica em uma área específica do conhecimento. Ao mensurar dados como o número de publicações, citações, redes de colaboração entre autores, palavras-chave mais frequentes e fontes de maior impacto, a bibliometria permite mapear o desenvolvimento de um campo, identificar os pesquisadores e instituições mais influentes, e revelar temas emergentes e lacunas na literatura. Para esta pesquisa foi utilizada a base de dados da *Scopus* e a nacional *SciElo*. Já para o processamento dos dados foi utilizado o *software* RStudio®, com a biblioteca

Biblioshiny, Bibliometrix. Foram utilizados os termos: "Precast Concrete", "Prefabricated Construction", "Sustainability", "Energy Efficiency", "Energy-Efficient Housing", "Photovoltaic systems", "Solar Water Heating" e "Water Reuse Systems". A base de dados Scopus, retornou 3.439 documentos para métodos construtivos ordenados por relevância, que após processados pela *Biblioshiny* resultaram nas Figuras 1 e 2.

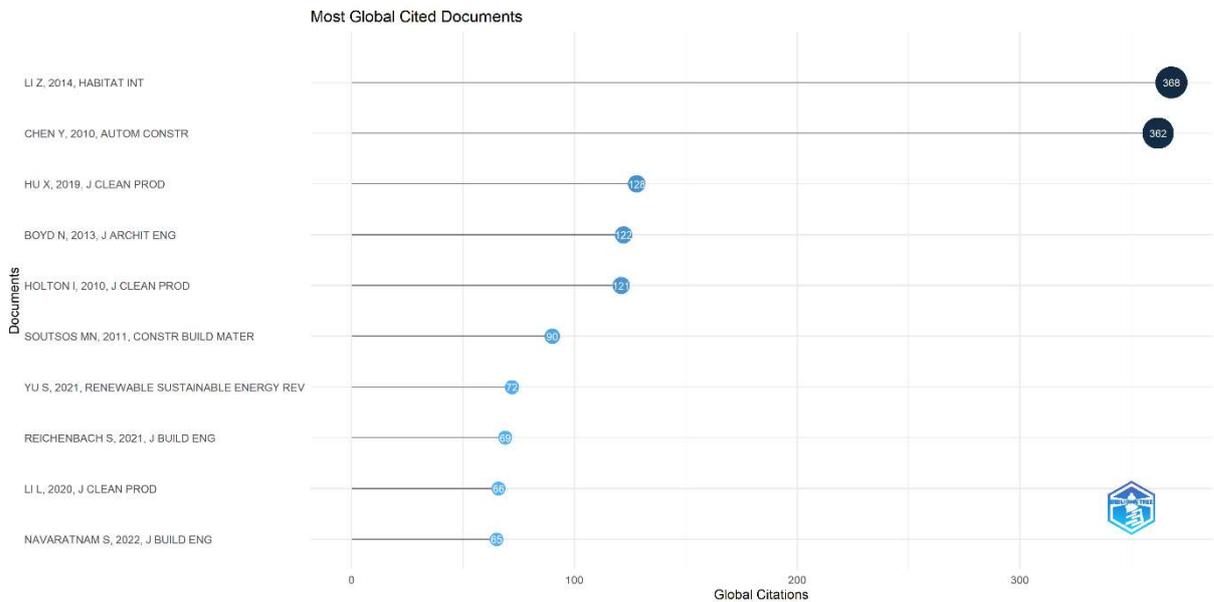


Figura 1. Autores mais citados mundialmente. Fonte: Scopus.



Figura 2. Principais palavras-chave. Fonte: Scopus

Os artigos mais citados referentes ao tema de métodos construtivos em pré-fabricados são apresentados a seguir na Tabela 1, juntamente com um resumo descritivo.

Tabela 1. Métodos construtivos.

Autor	Resumo	Citações
(Li, Shen e Xue, 2014)	O artigo examina o crescimento e os desafios da construção pré-fabricada (MPC) como método sustentável, destacando o aumento do interesse acadêmico entre 2000 e 2013. A revisão identifica cinco temas principais na pesquisa sobre MPC: perspectivas da indústria, desenvolvimento e aplicação, avaliação de desempenho, ambiente para aplicação de tecnologia, e estratégias de design, produção, transporte e montagem. A pesquisa é conduzida analisando os estudos publicados sobre gerenciamento de construção em 10 revistas acadêmicas, revelando contribuições significativas de países desenvolvidos, enquanto regiões em desenvolvimento mostram interesse crescente. O estudo também indica uma tendência futura para o uso de tecnologias avançadas, como GPS e RFID, para otimizar práticas construtivas.	368
(Chen, Okudan e Riley, 2010)	O artigo aborda critérios de desempenho sustentável para a seleção de métodos construtivos em edifícios de concreto. O estudo compara a construção convencional e a pré-fabricação, destacando a necessidade de critérios abrangentes para a escolha do método mais sustentável. Com base em uma pesquisa com profissionais da construção civil nos EUA, foram identificados 33 critérios divididos em aspectos econômicos, sociais e ambientais. A análise revelou sete fatores principais, como “custos de longo prazo”, “construtibilidade” e “impacto ambiental”, para ajudar na seleção de métodos que equilibram economia, impacto social e sustentabilidade ambiental.	362
(Hu, Chong e Wang, 2019)	O estudo explora as percepções de sustentabilidade de stakeholders da construção modular australiana (OSM). A análise identificou 59 percepções, concentrando-se nas dimensões social, ambiental e econômica da sustentabilidade. Entre os aspectos mais valorizados estão "alta qualidade", "foco no cliente", "custos acessíveis" e "inovação". Embora todos os tipos de stakeholders compartilhem percepções semelhantes, com ênfase em sustentabilidade social, há desafios para integrar completamente práticas sustentáveis. O artigo sugere que entender essas percepções ajuda a melhorar a gestão e o desempenho sustentável dos projetos de OSM, contribuindo para o desenvolvimento de modelos de avaliação específicos para o setor.	128

(Boyd, Khalfan e Maqsood, 2013)	O artigo explora o uso de construção modular fora do local (OSC) para edifícios residenciais, destacando a aplicação desse método em resposta ao crescimento populacional urbano na Austrália. A OSC oferece diversas vantagens, como tempos de construção mais rápidos, economia de custos, alta qualidade e melhorias de sustentabilidade e segurança no trabalho. Com foco no caso de um prédio em Melbourne, a pesquisa identifica também os desafios, como barreiras logísticas e o alto custo inicial, mas sugere que o método oferece soluções viáveis para demandas habitacionais urbanas.	122
(Holton, Glass e Price, 2010)	O artigo explora a gestão para sustentabilidade em quatro empresas do setor de concreto pré-moldado no Reino Unido, identificando práticas que promovem o desenvolvimento organizacional e sustentabilidade corporativa. As empresas avançaram da fase de "conformidade" para "eficiência", focando em sistemas de gestão ambiental certificados, como ISO 14001, e melhorias contínuas de desempenho. Com isso, obtiveram benefícios econômicos e sociais, como confiança dos stakeholders e redução de custos. O estudo recomenda expandir o foco para incluir eficiência social, sugerindo que outras empresas implementem sistemas de gestão sustentável para competir e garantir sucesso econômico a longo prazo.	121
(Soutsos, Tang e Millard, 2011)	O artigo explora o uso de agregados reciclados de demolição na produção de blocos de concreto, avaliando o impacto na resistência compressiva. A pesquisa mostra que substituir até 60% do agregado grosso e 20% do fino por agregado de concreto reciclado (RCA) mantém a resistência dos blocos sem aumentar o teor de cimento. Resultados similares foram obtidos com agregados de alvenaria reciclados (RMA), mas com efeito levemente prejudicial à resistência. Os testes de fábrica confirmaram a viabilidade técnica e econômica da substituição, indicando que a produção com materiais reciclados é sustentável e economicamente vantajosa para o setor.	90
(Yu <i>et al.</i> , 2021)	O artigo revisa o desempenho térmico e ambiental de edifícios pré-fabricados, enfatizando seu potencial para reduzir emissões de carbono na China. Ele avalia duas estruturas principais de paredes pré-fabricadas – paredes de sanduíche de concreto pré-moldado (PCS) e paredes leves com estrutura de aço (LSF) – destacando a importância dos conectores e dos materiais de isolamento na eficiência térmica. O estudo indica que edifícios com elementos pré-fabricados, além de otimizar o consumo de energia ao longo de seu ciclo de vida, também contribuem para minimizar resíduos. Contudo, barreiras contextuais e tecnológicas limitam o uso dessa abordagem.	72

(Reichenbach e Kromoser, 2021)	O artigo investiga a aplicação de automação na produção de concreto pré-fabricado, destacando seu potencial para otimizar sustentabilidade, produtividade e segurança no setor de construção. Com a integração de tecnologias como BIM, impressão 3D e robótica, a pesquisa identifica ganhos em eficiência, redução de resíduos e uso racional de materiais. As classificações de automação permitem medir o nível de automação atual e áreas para melhorias. O estudo sugere que a automação amplia a competitividade e sustentabilidade da construção pré-fabricada, mas enfrenta desafios em escalabilidade e adoção tecnológica, especialmente em regiões menos industrializadas.	69
(Li <i>et al.</i> , 2020)	O artigo propõe o método de industrialização no local (OSI) para a construção civil na China, integrando as vantagens da pré-fabricação e da construção <i>in loco</i> em edifícios de concreto de alta densidade. Baseado em pesquisa-ação e estudos de caso, o framework OSI utiliza princípios de padronização, modularização, lean e sustentabilidade. A comparação com métodos tradicionais destaca o OSI como uma opção mais sustentável e economicamente vantajosa, atendendo a requisitos ambientais e sociais sem comprometer a eficiência econômica. O estudo sugere que o OSI poderia revolucionar o setor ao promover uma construção mais limpa e com menor impacto ambiental.	66
(Navaratnam <i>et al.</i> , 2022)	O artigo examina os desafios enfrentados pela construção de edifícios pré-fabricados sustentáveis na Austrália, destacando as percepções de profissionais do setor. Embora a construção pré-fabricada ofereça vantagens, como redução de tempo, controle de qualidade e menor impacto ambiental, ainda enfrenta barreiras significativas. Entre elas, estão as restrições logísticas, a escassez de mão de obra especializada e a falta de flexibilidade no design. Além disso, questões culturais e a pandemia influenciam a adoção do método. A pesquisa sugere que superar essas barreiras pode aumentar a sustentabilidade e a resiliência do setor na Austrália.	65

Fonte: Scopus.

Para o tema sobre eficiência energética, são apresentados na Figura 3 os autores mais citados com trabalhos relevantes para a área. Já a Tabela 2 contém o resumo dos artigos.

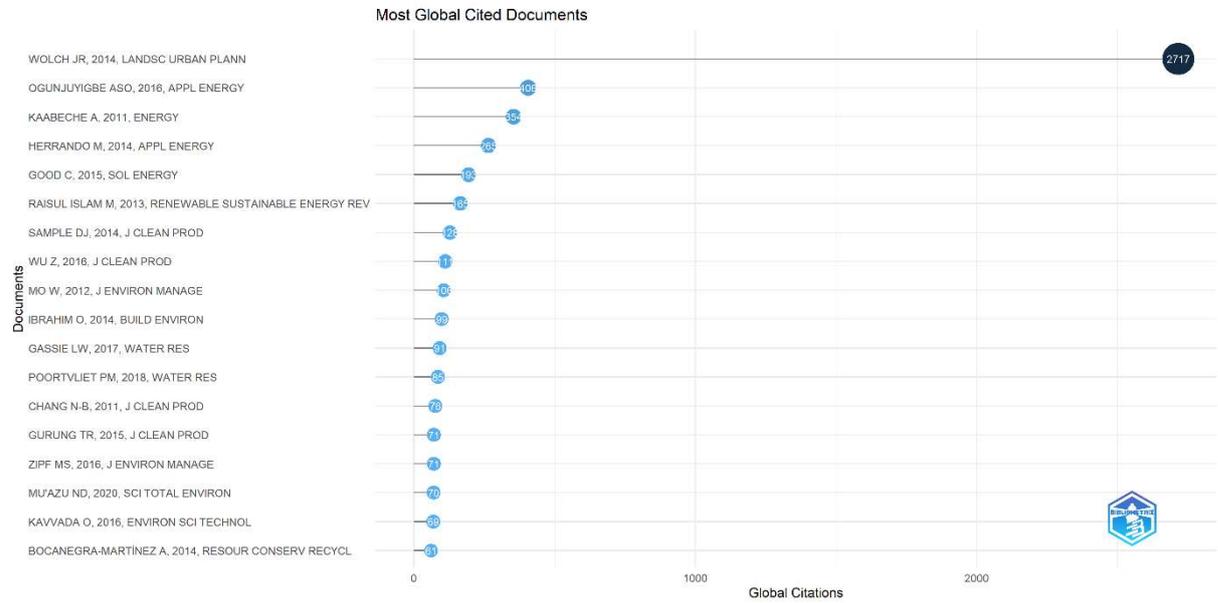


Figura 3. Autores mais citados mundialmente. Fonte: Scopus.

Tabela 2. Eficiência energética e reúso.

Autor	Resumo	Citações
(Wolch, Byrne e Newell, 2014)	O artigo examina o papel dos espaços verdes urbanos para a saúde pública e justiça ambiental, destacando o acesso desigual a esses espaços em comunidades de baixa renda e minorias étnicas. Nos EUA e China, estratégias para criar áreas verdes melhoram a saúde, mas também podem aumentar os custos de moradia, gerando gentrificação e deslocamento. A pesquisa sugere um modelo de planejamento "verde o suficiente", que equilibre os benefícios ecológicos e sociais dos espaços verdes com a proteção das comunidades locais contra os impactos econômicos negativos.	2717
(Ogunjuyigbe, Ayodele e Akinola, 2016)	O artigo aplica um Algoritmo Genético (GA) para otimizar um sistema híbrido de energia para edifícios residenciais remotos, integrando painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, geradores a diesel segmentados e baterias. O objetivo é minimizar o custo de ciclo de vida (LCC), as emissões de CO ₂ e a energia desperdiçada (dump energy). O sistema PV/Wind/Split-diesel/Battery alcançou uma redução de 46% no LCC, 28% no custo energético, 82% nas emissões e 94% na energia desperdiçada, em comparação com um único gerador a diesel. Este modelo é viável para áreas sem acesso à rede elétrica.	406
(Kaabeche, Belhamel e Ibtouen, 2011)	O artigo propõe um modelo de otimização para dimensionamento de um sistema híbrido fotovoltaico/eólico independente da rede elétrica, incluindo banco de baterias, com foco na confiabilidade e custo unitário de eletricidade (LUEC). Usando a técnica de Deficiency of Power Supply Probability (DPSP), o modelo ajusta a capacidade dos componentes para atender demandas de energia com confiabilidade mínima e menor custo. Aplicado em Bouzaréah, Argélia, o estudo destaca que uma configuração com armazenamento moderado e fontes equilibradas entre solar e eólica reduz o LUEC, viabilizando o uso eficiente de energias renováveis em regiões isoladas.	354
(Herrando, Markides e Hellgardt, 2014)	O artigo avalia o desempenho anual de um sistema híbrido fotovoltaico-térmico (PVT) em uma residência no Reino Unido, focado na demanda de eletricidade e água quente. O modelo desenvolvido otimiza variáveis como a área coberta pelo coletor solar e a taxa de fluxo do coletor, cobrindo até 51% da demanda anual de eletricidade e 36% da demanda de água quente. Comparado a sistemas apenas fotovoltaicos, o sistema PVT economiza até 16 toneladas de CO ₂ em 20 anos, demonstrando vantagens significativas em emissões e cobertura energética para o setor residencial.	265

(Good, Andresen e Hestnes, 2015)	O artigo compara três sistemas de energia solar – térmico, fotovoltaico (PV) e híbrido fotovoltaico-térmico (PV/T) – para prédios residenciais de energia zero na Noruega. A simulação revela que os módulos PV de alta eficiência se aproximam mais do balanço zero de energia, enquanto os sistemas híbridos PV/T e solares térmicos também oferecem resultados positivos, mas variam em eficiência. O sistema PV isolado apresenta o maior rendimento anual e ocupa menos espaço, mostrando-se vantajoso para atender à demanda energética de edifícios com áreas limitadas para instalações de energia solar.	193
(Raisul Islam, Sumathy e Ullah Khan, 2013)	O artigo revisa sistemas de aquecimento solar de água (SWH), focando em tendências tecnológicas e econômicas globais. Ele categoriza SWH em sistemas passivos e ativos, incluindo termossifão, circulação direta e sistemas de armazenamento integrado, avaliando seu desempenho e eficiência energética. As análises indicam que, apesar do custo inicial, os SWH trazem benefícios econômicos a longo prazo, especialmente em regiões com alta radiação solar. O estudo destaca o potencial de expansão desses sistemas, com China, Alemanha e Brasil liderando o mercado, e enfatiza a importância de políticas de incentivo para promover a adoção sustentável globalmente.	165
(Sample e Liu, 2014)	O artigo otimiza sistemas de captação de água de chuva (RWH) para abastecimento e captura de escoamento em diferentes usos de solo na Virgínia, EUA. Usando o modelo RASP, a pesquisa avalia a viabilidade econômica de RWH e identifica soluções quase ideais para reduzir custos e aumentar a confiabilidade. A análise revela que sistemas descentralizados de RWH têm potencial em áreas residenciais de alta densidade e comerciais, embora a viabilidade dependa de custos locais de água e esgoto. A pesquisa destaca que políticas locais e modelos de custo-benefício podem incentivar o uso eficaz do RWH.	128
(Wu <i>et al.</i> , 2016)	O artigo analisa as diretrizes de gestão de resíduos de construção em cinco sistemas de certificação verde: LEED, BREEAM, Green Globes (GG), ESGB (China) e GBI (Malásia). A pesquisa compara a ênfase dada aos princípios de redução, reutilização e reciclagem de resíduos, com ESGB e GG priorizando a redução e LEED e BREEAM focando na reutilização e reciclagem. A análise revela que a especificidade e aplicabilidade das normas variam conforme o contexto regional, destacando a necessidade de requisitos detalhados para melhorar o gerenciamento de resíduos e incentivar práticas de construção sustentável globalmente.	111
(Mo e Zhang, 2012)	O artigo explora a possibilidade de neutralidade de carbono em sistemas municipais de tratamento de esgoto. Usando o caso da planta de tratamento em Tampa, Flórida, a pesquisa	106

	<p>analisa a geração de energia no local, a reciclagem de nutrientes e a reutilização de água. Embora essas práticas possam compensar toda a energia operacional direta, elas não conseguem neutralizar totalmente a energia incorporada ao longo do ciclo de vida da planta. A reutilização de água apresenta o maior potencial de compensação, enquanto a reciclagem de nutrientes é a menos eficiente.</p>	
(Ibrahim <i>et al.</i> , 2014)	<p>O artigo revisa diferentes sistemas de aquecimento de água domésticos, analisando aspectos de energia e impacto ambiental. São descritos seis tipos principais: a lenha, óleo/gás, elétrico, bomba de calor, solar e sistemas instantâneos. Cada tipo é comparado em termos de eficiência energética, custos operacionais e impacto ambiental. O estudo destaca o uso de bombas de calor e sistemas solares como os mais sustentáveis, especialmente em climas favoráveis. Também propõe uma metodologia para selecionar o sistema mais adequado, considerando parâmetros como fonte de energia, custo e condições climáticas, promovendo uma escolha mais eficiente e ambientalmente responsável.</p>	99
(Gassie e Englehardt, 2017)	<p>O artigo revisa processos avançados de oxidação e desinfecção para reutilização de águas cinzas em sistemas fechados, que permitem reciclagem de água para usos domésticos como banho e lavagem. Tecnologias como TiO₂-UV, UV-peróxido de hidrogênio, peroxona e ozônio-UV são comparadas em termos de eficiência energética, controle de patógenos e impacto ambiental. A pesquisa destaca a peroxona como a mais eficiente para mineralização de compostos orgânicos, enquanto o UV-ozônio é uma alternativa viável para aplicações portáteis. O artigo enfatiza também o controle de subprodutos como bromato, crucial para segurança na reutilização da água.</p>	91
(Poortvliet <i>et al.</i> , 2018)	<p>O artigo examina a aceitação pública de novos sistemas de saneamento descentralizados na Holanda, usando a teoria de valor-crença-norma (VBN) para entender motivações ambientais e percepções de risco e benefício. A pesquisa mostra que normas pessoais pró-ambientais e percepções de risco e benefício influenciam significativamente a intenção de uso desses sistemas. Apesar de riscos associados a mudanças comportamentais, 64% dos entrevistados indicaram que usariam o saneamento sustentável. O estudo destaca que comunicar benefícios ambientais e econômicos pode melhorar a aceitação pública, ajudando a superar barreiras e incentivando inovações no saneamento.</p>	85
(Chang, Rivera e Wanielista, 2011)	<p>O artigo propõe um modelo de programação estocástica para otimizar o uso de telhados verdes em residências ecológicas, visando à economia de água e energia sob incertezas climáticas e de mercado. Aplicado a uma casa na Flórida, o</p>	76

	<p>modelo considera o balanço hídrico com cisternas para capturar águas pluviais e reutilizar águas cinzas, além dos impactos de diferentes tipos de telhado. A análise conclui que telhados verdes podem economizar energia e reduzir a demanda de água potável, equilibrando custo-benefício ao longo de 50 anos e promovendo práticas sustentáveis em construções residenciais.</p>	
(Gurung <i>et al.</i> , 2015)	<p>O artigo explora o uso de dados de demanda de água em tempo real fornecidos por medidores inteligentes para o planejamento aprimorado de infraestrutura de abastecimento urbano. Realizado em Queensland, Austrália, o estudo analisou o consumo de água em 130 residências e mapeou o uso em 48 intervalos diários. Resultados indicam que o uso de fontes alternativas, como água de chuva e reuso de águas cinzas, combinado com aparelhos eficientes, pode reduzir em até 51% a demanda máxima diária. Essas medidas auxiliam no planejamento sustentável da rede de abastecimento, ajudando a mitigar custos e ampliar a capacidade dos sistemas.</p>	71
(Zipf, Pinheiro e Conegero, 2016)	<p>O artigo investiga sistemas simplificados de tratamento de águas cinzas utilizando filtros lentos de areia e resíduos de ardósia, seguidos por carvão ativado granular. Em um estudo de 28 semanas, o sistema removeu 61-67% da turbidez, cor aparente, DBO e surfactantes, com eficiência semelhante entre areia e ardósia. A filtração de carvão ativado foi essencial para melhorar a qualidade da água tratada. Os resultados indicam que resíduos de ardósia podem substituir a areia, promovendo práticas sustentáveis ao reutilizar resíduos minerais em sistemas de tratamento descentralizado para reuso não potável de água.</p>	71
(Mu'azu, Abubakar e Blaisi, 2020)	<p>O artigo analisa a aceitação pública do reuso de águas residuais tratadas na Arábia Saudita, com foco em usos não domésticos, como combate a incêndios, piscinas e lavagem de carros. Com base em uma pesquisa com 624 domicílios na área metropolitana de Dammam, o estudo revela que fatores como gênero, localização e nível educacional influenciam a aceitação, com maior predisposição ao reuso de águas cinzas em comparação a efluentes mistos. A pesquisa sugere a necessidade de campanhas de conscientização e segregação de efluentes para ampliar a aceitação, promovendo a sustentabilidade hídrica conforme a Visão 2030 saudita.</p>	70
(Kavvada <i>et al.</i> , 2016)	<p>O artigo avalia sistemas de reuso de água não potável em áreas urbanas usando uma análise de ciclo de vida para comparar impactos em consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa (GHG). Aplicado em São Francisco, o estudo analisa cenários centralizados e descentralizados, considerando topografia e densidade populacional. Sistemas</p>	69

	descentralizados mostram-se mais eficientes em regiões de alta elevação distantes de plantas centrais, com redução de até 29% em energia e 28% em GHG. O modelo desenvolvido pode guiar planejadores urbanos na integração de sistemas de reuso, adaptando-se a condições locais para maior sustentabilidade hídrica.	
(Bocanegra-Martínez <i>et al.</i> , 2014)	O artigo propõe um modelo de otimização para o design de sistemas de captação de água de chuva em empreendimentos residenciais. Focado em Morelia, México, o estudo busca minimizar os custos anuais totais e o consumo de água potável, considerando variáveis como armazenamento, tubulação e bombas. A análise com múltiplos cenários indica que sistemas de armazenamento durante a estação chuvosa podem reduzir o uso de água potável em até 87,6%, sendo viáveis em locais com escassez hídrica sazonal. O modelo é flexível, permitindo adaptações para outras áreas urbanas com restrições semelhantes.	61

2.2 PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO

De acordo com NBR 9062:2017 (ABNT, 2017) a norma para projeto de estruturas de concreto pré-moldados, esses elementos são executados industrialmente sob condições rigorosas de controle de qualidade e fora do local de utilização definitiva da estrutura. Assim sendo, as empresas que comercializam produtos oriundos dessa tecnologia necessitam passar por processos de avaliação do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores – SINAT (ABNT, 2013a; IPT, 2020) como os testes de resistência e qualidade em laboratórios especializados. Navaratnam *et al.* (2022), afirmam que a implementação de automação no controle de qualidade na produção de concreto pré-fabricado é essencial para garantir a consistência e minimizar dependências de operadores humanos. Tecnologias como laser *scanning* e sistemas de modelagem da informação da construção (BIM) são integradas para monitorar em tempo real, identificar desvios geométricos e avaliar a densidade e umidade do concreto. Essa automação permite o monitoramento contínuo e a coleta de dados para ajustes dos processos, melhorando a qualidade e reduzindo desperdícios ao longo da cadeia de produção.

Em Rocha *et al.* (2013), os autores estudaram a eficácia da utilização de blocos pré-moldados travados em habitações sociais, e citam casos de sucesso como o do Conjunto Habitacional Gervásio Maia em João Pessoa – PB, concluindo que a utilização de blocos pré-moldados avançou muito nos últimos anos e é possível utilizá-los nas construções, pois atendem os requisitos de resistência e compressão.

Soutsos *et al.* (2011) afirmam que a resistência à compressão é uma métrica crítica na produção de componentes de concreto pré-fabricado, sendo essencial para garantir a durabilidade e a segurança estrutural. Os mesmos autores apontam que em estudos recentes, pesquisadores exploraram o uso de agregados reciclados na produção dos blocos de concreto, conseguindo manter altos níveis de resistência mesmo ao substituir até 60% do agregado grosso por agregado de concreto reciclado. Esse método demonstrou-se economicamente viável e sustentável, sendo uma prática recomendada para reduzir ainda mais o impacto da construção civil sem comprometer o desempenho dos materiais.

Os diferentes tipos de placas pré-moldadas atendem a diferentes exigências e funcionalidades, sendo aplicáveis tanto em construções de grande porte quanto em residenciais. Cada tipo tem vantagens específicas, dependendo da finalidade e do tipo de construção onde será utilizado, conforme tabela abaixo.

Já o uso da tecnologia de placas alveolares pré-moldadas (Figura 4), está atrelado aos benefícios econômicos e ambientais, como velocidade de execução, redução de custos e durabilidade (Ferreira *et al.*, 2021), além de função estrutural, revestimento, acústica e térmica, se mostrando assim melhor custo benefício. Em Nunes de Souza (2018) é exposto que a construção civil tem baixa produtividade, com maiores desperdícios, morosidade e pouco controle da qualidade empregada. Sendo que, umas das formas de otimização é o emprego de elementos pré-fabricados.



Figura 4. Placas Alveolares Pré-Moldadas. Fonte: Fabrica BeloForte

Tabela 3. Tipos de placas pré moldadas

Tipo de Placa	Descrição	Aplicação	Vantagens
Placas de Fechamento	Utilizadas para fechamento de fachadas e paredes.	Edifícios comerciais, industriais e residenciais.	Instalação rápida e boa eficiência no isolamento.
Placas Estruturais	Função estrutural, suportando cargas verticais e horizontais.	Paredes de concreto estrutural em edifícios.	Alta resistência e economia de espaço.
Placas de Laje	Usadas para construção de lajes, podendo ser maciças ou nervuradas.	Pisos e coberturas.	Economia de concreto e aço, processo construtivo rápido.
Placas de Piso	Placas para pavimentação de áreas externas e internas.	Calçadas, estacionamentos, praças.	Duráveis e fáceis de substituir.
Placas de Vedação Leve	Fabricadas com materiais leves e boa capacidade de isolamento.	Paredes internas e fachadas.	Leves e de fácil instalação.
Placas Sandwich	Compostas por camada isolante entre duas placas de concreto.	Áreas que exigem alto isolamento térmico.	Excelente isolamento e resistência.
Placas de Revestimento	Placas finas usadas como revestimento estético.	Fachadas e paredes externas e internas.	Acabamento estético de alta qualidade.

Fonte:(Tavares, V *et al.*, 2021)

O processo de fabricação das placas se dá com a utilização de concreto com a inclusão de ferro protendido para incrementar a resistência, que por sua vez, enquadra-se na Norma ABNT para desempenho de edificações NBR 15575:2013 (ABNT, 2013b). Segundo Barbosa (2018), o passo a passo para a fabricação das placas pré-moldadas se dá pela aplicação de óleo mineral nas formas, sendo essas de madeira ou ferro. Na sequência é feito o posicionamento das armaduras de ferro e tubulações. Seguido pelo lançamento do concreto, espalhamento, adensamento e sarrafeamento. Por fim, o alisamento e desempeno da superfície conforme a Figura 5.



Figura 5. Processo de fabricação das placas. Fonte: Fabrica BeloForte

Além disso, é salientado em Silva et al. (2013), que o uso de tecnologias industrializadas ou racionalizadas em concreto tornou-se uma solução importante para as habitações populares nas últimas décadas devido aos incentivos governamentais, como por exemplo o programa Minha Casa Minha Vida.

Dentre os diferentes tipos de placas de concreto pré-moldadas, os critérios considerados mais importantes são: Resistência Mecânica, Durabilidade e Resistência, Isolamento Térmico e Acústico, Facilidade de Instalação e Viabilidade Econômica. E, para tanto, uma parte da placa, citada acima foi levada a laboratório para determinação de tais parâmetros demonstrados nos resultados do presente estudo.

O corpo de prova utilizado para o teste de resistência possui um traço o qual é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Traço do concreto.

Parâmetro	Especificação	Parâmetro	Especificação
Volume de Concreto Produzido	0,162 m ³	Concreto (Fck)	40 MPa
Cimento CPIII	37,5 kg	Corpo de Prova	0,12 x 0,40 m
Água	16 L	Formas	Placa retangular
Areia	101,25 kg	Adensamento	Mecânico Vibratório
Brita	135 kg	Molde	Adensamento
Superplastificante	50 g	Cura	28 dias
Mistura	Betoneira		

Fonte: Fabrica BeloForte

Atualmente no cenário brasileiro existem empresas de pequeno porte, fabricantes de peças pré-moldadas para diversas finalidades. Porém, essas empresas não são especializadas em placas para construção civil residencial de pequeno porte. Em uma breve pesquisa de mercado, através da internet, pode-se constatar que algumas até conseguem atender uma demanda sob encomenda, sendo elas:

- Jet Casa Pré-fabricados S.A., apresenta no relatório IPT o desempenho dos ensaios em laboratório para avaliação de resistência dos painéis pré-moldados, assim como o ensaio de peças suspensas, estanqueidade à água, impacto de corpo duro, desempenho térmico e acústico, conforme diretriz SINAT n°002, revisão 2, concluindo que as placas pré-moldadas de concreto atendem aos requisitos e critérios da NBR 15575(ABNT, 2013a) (Pessarello, 2008) (IPT, 2020)

- BeloForte Pré-Fabricados Ltda, fábrica de pequeno porte especializada em placas pré-moldadas alveolares, onde dados experimentais foram coletados, visita in loco (BeloForte, 2024);
- Habitar Tecnologia Construtivas LTDA, empresa localizada em Pindamonhangaba/SP (Habitar, 2024)
- Olé Casas S.A, empresa de grande porte com foco em produção padronizada localizada no Ceará (Olé Casas, 2024).

Segundo Oliveira e Santos (2021), que realizaram um estudo de revisão bibliográfica comparativo entre o método construtivo de pré-moldados e o convencional, foi concluído que o método pré-moldado foi 9,75% mais econômico que o convencional. Mas, em contrapartida a desvantagem principal é a movimentação e instalação dos elementos pré-moldados devido à falta de equipamentos específicos para o método.

Fonte	Aspecto Estudado	Tecnologias/Métodos Utilizados	Resultados/Conclusões Principais
ABNT (2017)	Normas para Estruturas Pré-Moldadas	Controle de Qualidade Industrial	Produção fora do local de uso com rigoroso controle de qualidade; exigência de testes pelo SINAT (IPT, 2020).
Navaratnam et al. (2022)	Automação em Controle de Qualidade	Laser Scanning, BIM	Automação melhora consistência e reduz erros; monitoramento em tempo real e ajuste contínuo dos processos.
Rocha et al. (2013)	Blocos Pré-Moldados em Habitações Sociais	Blocos Pré-Moldados	Estudos em habitações sociais mostram eficácia e conformidade com requisitos de resistência, como no projeto em PB.
Soutsos et al. (2011)	Resistência à Compressão e Sustentabilidade	Agregados Reciclados	Blocos com até 60% de agregado reciclado mantêm alta resistência; prática recomendada para sustentabilidade.
Ferreira et al. (2021)	Placas Alveolares Pré-Moldadas	Pré-Moldagem com Ferro Protendido	Benefícios econômicos e ambientais: rapidez, custo reduzido e durabilidade.
Nunes de Souza (2018)	Produtividade na Construção Civil	Elementos Pré-Fabricados	Elementos pré-fabricados otimizam o processo, reduzindo desperdícios e aumentando produtividade.
Barbosa (2018)	Processo de Fabricação de Placas Pré-Moldadas	Aplicação de Óleo Mineral, Armaduras de Ferro	Descrição detalhada do processo de fabricação de placas com etapas de acabamento, conforme norma ABNT.
Silva et al. (2013)	Tecnologias para Habitação Popular	Tecnologias Industrializadas	Incentivos governamentais impulsionam uso de pré-moldados em habitações populares (ex: Minha Casa Minha Vida).
Oliveira e Santos (2021)	Comparação com Método Convencional	Pré-Moldados vs. Convencional	Método pré-moldado é 9,75% mais econômico; dificuldade com movimentação e instalação devido a falta de equipamentos.
Empresas e Mercado (2024)	Produção de Pré-Moldados no Brasil	Jet Casa Pré-fabricados, BeloForte, Habitar, Olé Casas	Empresas fornecem produtos sob demanda; atendem requisitos SINAT e ABNT em resistência e desempenho para construções.

Fonte: Resumida pelo autor

2.3 ÁGUA DE PROCESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O consumo de água no processo de construção civil está presente em quase todas as etapas da obra e de diferentes maneiras, sendo desde o consumo humano até a fabricação e limpeza. Em Pessarello (2008) a autora quantifica o consumo de água na confecção de 1 m^3 de concreto como sendo de 160 a 200 L ($0,16$ a $0,20\text{ m}^3/\text{m}^2$), e de 300 L para a compactação de 1 m^3 de aterro. A autora desenvolve um estudo estimativo do consumo por metro quadrado de construção, considerando toda a água utilizada na obra, incluindo o consumo humano e limpeza e chega a valores entre $0,37$ e $0,68\text{ m}^3/\text{m}^2$ construído. A autora também conclui que a diferença está entre o tipo e porte da obra e quando analisado sem os consumos secundários, os valores medianos são aceitáveis.

Segundo Marques et al. (2017), a variação no consumo de água se dá em função da gestão, tipo de obra, técnicas construtivas e área construída, onde os resultados mostraram uma variação de $0,020\text{ m}^3/\text{m}^2$ e $0,028\text{ m}^3/\text{m}^2$ para as diferentes obras monitoradas. Nesse trabalho, os autores não consideraram a análise como um todo da água, mas apenas a água do processo de construção.

Tavares et al. (2021), também discutem a quantidade de água consumida no processo de construção civil. Em seu trabalho os autores citam que na fase de montagem o consumo de água foi de 150 L para construções pré-fabricadas e 300 L para construções convencionais, refletindo uma redução significativa no uso de água nas alternativas pré-fabricadas. Na fase de desmontagem, o consumo de água foi similar, com 50 L para ambos os métodos.

Wang e Sinha (2021), avaliam o consumo de água nos processos de construção, comparando métodos convencionais e pré-fabricados ao longo de várias fases, como extração de materiais, fabricação, montagem e transporte. A pré-fabricação reduz significativamente o uso de água na extração de materiais e no trabalho no local devido a menores perdas de material e menor uso de diesel para montagem, reduzindo o consumo para $0,0014\text{ m}^3/\text{m}^2$ em comparação com $0,012\text{ m}^3/\text{m}^2$ no método convencional. No entanto, as fases de transporte e processamento fabril aumentam levemente o consumo, mas o impacto geral ainda é positivo para a economia hídrica em construções pré-fabricadas.

No que tange as placas pré-moldadas o consumo de água, segundo dados empíricos coletados, ou seja, de acordo com o traço do concreto utilizado pelas empresas citadas no item 2.2, durante o processo de fabricação o consumo de água gira em torno de $0,016\text{ m}^3/\text{m}^2$. O consumo humano e demais usos foi considerado o mesmo em ambos os cenários. A tabela 5 abaixo demonstra o comparativo resumido entre os diferentes autores citados acima.

Tabela 5: Comparativo entre tipos de construtivos.

Fonte	Etapa do Processo	Tipo de Construção	Consumo de Água por Unidade de Construção	Observações
Pessarello (2008)	Confecção de Concreto	Geral	160 a 200 L / m ³ (0,16 a 0,20 m ³ /m ²)	Estimativa por m ² de construção inclui consumo humano e limpeza, totalizando entre 0,37 e 0,68 m ³ /m ²
	Compactação de Aterro	Geral	300 L / m ³	
Marques et al. (2017a)	Processo de Construção	Geral	0,020 a 0,028 m ³ /m ²	Variação conforme gestão, tipo de obra, técnicas construtivas e área construída
Tavares et al. (2021)	Montagem	Pré-fabricada	150 L	Uso reduzido comparado a métodos convencionais
	Montagem	Convencional	300 L	
	Desmontagem	Pré-fabricada e Convencional	50 L	Consumo igual para ambos os métodos
Wang e Sinha (2021)	Extração de Materiais e Montagem	Pré-fabricada	0,0014 m ³ /m ²	Menor uso de água devido a menores perdas de material e uso de diesel
	Extração de Materiais e Montagem	Convencional	0,012 m ³ /m ²	
	Transporte e Processamento Fabris	Pré-fabricada	Aumento leve de consumo	Impacto positivo geral na economia de água para construções pré-fabricadas
Dados Empíricos	Fabricação de Placas Pré-moldadas	Pré-moldada	0,016 m ³ /m ²	Consumo humano considerado igual em ambos os cenários

Fonte: Resumida pelo autor

2.4 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO TERMO SOLAR

A energia solar é uma das energias renováveis mais amplamente utilizadas em todo o mundo, possuindo o mais alto potencial dentre todas as fontes alternativas de energia disponíveis. Em Jamar *et al.* (2016), os autores apresentam uma grande revisão sobre o tema, afirmando que sistema de aquecimento solar de água tem chamado grande atenção entre os pesquisadores da área para a melhoria de sua performance. Os maiores ganhos da utilização de energias renováveis como a termo solar, é que nenhum combustível é necessário, o que erradica a emissão de dióxido de carbono (CO₂), um dos fatores da poluição do ar que contribui com as metas das Conferências do Clima. O primeiro aquecedor solar de água que lembra o conceito

atual, e ainda está em uso nos dias hoje, foi um tanque de metal, pintado de preto e colocado no telhado com uma certa inclinação em direção ao sol. Praticamente, o conceito funcionou muito bem, mas normalmente demorava o dia todo para a água esquentar e, assim que o sol se punha, ela esfriava rapidamente porque o tanque não era isolado. De fato, o aquecedor solar de água entrou efetivamente no mercado global comercialmente em 1800 (Jamar *et al.*, 2016).

Lima (2003), descreve o dimensionamento e a otimização de um sistema de aquecimento solar de água. Neste trabalho, a autora, *apud* Prado (1992), cita que 32% de toda a energia consumida em uma residência é devida ao chuveiro elétrico, e também cita, que em estudo, *apud* Kimura (1997), conseguiu-se uma redução superior a 50% de toda a energia residencial implantando aquecimento solar, painel fotovoltaico e isolamento térmico nas paredes externas.

Um coletor solar funciona para coletar a energia da luz solar, enquanto um tanque de armazenamento armazena a água quente produzida pelo próprio sistema. Para garantir que a água esteja sempre quente, o tanque deve ser bem isolado para evitar perdas de calor. Seu princípio de funcionamento utiliza um fluido de trabalho que é colocado em contato com uma superfície escura (alta absorção) sendo exposta à luz solar, o que faz com que a temperatura do fluido aumente. Este fluido pode ser tanto a própria água sendo aquecida diretamente (sistema ativo), o que é chamado de sistema direto, ou pode ser um fluido de transferência de calor (como um glicol ou mistura de água) que passa por alguma forma de trocador de calor, sendo chamado de sistema indireto (sistema passivo). Vários tipos de coletores solares para o aquecimento da água podem ser utilizados, incluindo tanto os coletores não concentradores como o coletor de placa plana ou coletor de tubo de vácuo, quanto, os coletores de concentração como o refletor de prato parabólico ou coletor de canal parabólico (Jamar *et al.*, 2016).

Em Gautam *et al.* (2017; IPT, 2020) os autores estudam a viabilidade econômica dos sistemas de aquecimento de água no longo prazo e relata que o período de retorno de um sistema de aquecimento varia de uma origem para outra, pois depende de vários fatores como preço dos combustíveis fósseis, taxa de subsídio, insolação solar etc. Os sistemas de energia solar são geralmente conhecidos pelo alto custo inicial e baixo custo operacional.

Existem no mercado três tipos principais de coletores solares, o coletor solar de placa plana (FPC), o coletor solar de tubo evacuado (ETC) e coletor solar concentrado (prato parabólico e coletor de canal parabólico). O coletor de placa plana é o dispositivo mais popular existente, sendo composto pelas placas absorvedoras, os risers de cobre, isolamentos e vidros e tubos coletores. A Figura 4 apresenta o esquema de um coletor de placa plana. A placa absorvente é geralmente revestida com uma superfície enegrecida (alta absorção) para absorver o máximo

de calor possível, no entanto, vários revestimentos de cores também foram estudados. Os risers de cobre, por outro lado, são soldados à placa absorvente e conectados em ambas as extremidades por tubos coletores de grande diâmetro. A função do isolamento é minimizar a perda de calor na parte traseira e nas laterais do coletor, enquanto um tubo coletor deve admitir e descarregar o fluido (Jamar *et al.*, 2016).

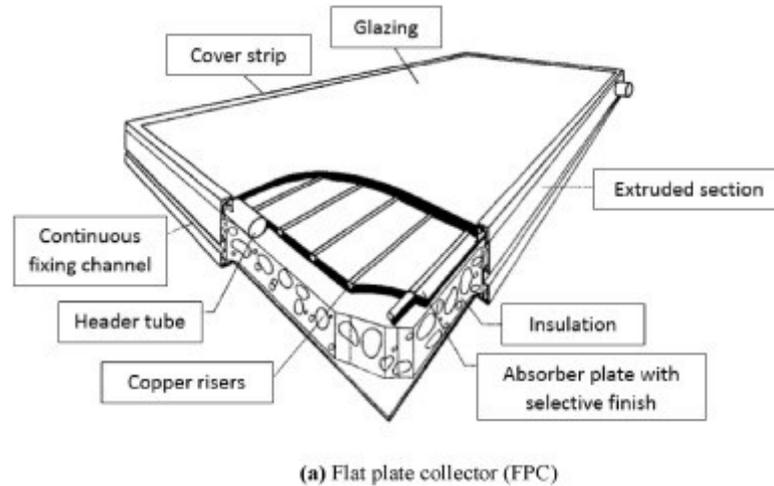


Figura 6. Coletor de Placa plana. Fonte: (Jamar *et al.*, 2016).

Responsável por um mercado de 80% de todo o aproveitamento termo solar, o aquecimento da água se tornou o sistema de energia solar mais popular do mundo (Wang *et al.*, 2015). Nas últimas décadas, o aquecedor solar ganhou ampla aplicação no setor de construção civil. No entanto, os sistemas foram identificados com uma série de problemas técnicos tornando-se barreiras para sua ampla utilização, podendo ser citado, a baixa eficiência em climas frios, altas perdas de calor durante a noite e a fraca capacidade de conversão solar, bem como as barreiras econômicas, pois, em algumas regiões apresenta um alto custo de aquisição (Wang *et al.*, 2015).

Dentre as opções mencionadas, e levando em conta as características climáticas da região sudeste, o coletor de placa plana é uma excelente escolha, pois equilibra bem custo e eficiência.

Para o dimensionamento do sistema, conforme Raimo, (2007), é necessário inicialmente determinar o volume total de consumo e, a partir dele, o volume de armazenamento. Esse volume é calculado pela Equação (1):

$$V_{armazenamento} = V_{consumo} \times \frac{T_{consumo} - T_{ambiente}}{T_{armazenamento} - T_{ambiente}} \quad (1)$$

onde V representa o volume e T a temperatura.

O volume de armazenamento é dado pelo maior valor entre o volume calculado e 75% do volume total de consumo.

Em seguida, calcula-se a energia útil necessária para definir a área das placas, conforme Equação (2):

$$E_{util} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C\rho(T_{armaz} - T_{amb})}{3600} \quad (2)$$

onde E útil é a energia útil, V_{armaz} o volume de armazenamento, ρ a densidade da água (1000 kg/m³), $C\rho$ o calor específico da água (4,18 kJ/kg), T_{armaz} a temperatura de armazenamento e T_{amb} a temperatura ambiente média anual.

Com esses valores, determina-se a área necessária das placas solares térmicas pela Equação (3):

$$A_{coletora} = \frac{(E_{util} - E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_g} \quad (3)$$

onde I_g é a irradiação solar média, FC_{instal} o fator de correção de inclinação e $PMDEE$ é a produção média diária de energia específica do coletor solar, obtida pela Equação (4):

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr_{\tau\alpha} - 0,0249 \times Fr_{UL}) \quad (4)$$

Essas equações permitem dimensionar a área das placas solares, considerando tanto a eficiência energética quanto a adequação ao ambiente local (Raimo, 2007b)

2.5 GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia oriunda da transformação direta de luz em energia elétrica. Esse fenômeno foi descrito pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel, ao relatar as propriedades do Selênio, que produzia uma corrente elétrica diretamente proporcional à radiação incidente (Bošnjaković, 2024). Em (Albuquerque, Maldonado e Vaz, 2017) a definição de energia fotovoltaica é a troca de calor entre os raios solares e material semicondutor que gera uma diferença de potencial.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos quanto às suas formas de aplicação: os sistemas autônomos e os sistemas ligados à rede elétrica. Nos sistemas ligados à rede, além dos geradores fotovoltaicos, é preciso conectar algum equipamento de proteção aos painéis, prevenindo-os de correntes reversas, além de um inversor, que transforme a energia - sempre gerada em corrente contínua - numa forma compatível com a rede elétrica, ou seja, em corrente alternada. Nos sistemas autônomos, é preciso um sistema de armazenamento de energia, papel comumente desempenhado pelas baterias. Uma das grandes preocupações nos sistemas fotovoltaicos é

relativa aos efeitos de sombreamento, pois estes impedem a incidência solar em determinadas células. Caso uma pequena parte de um painel esteja sombreada, por exemplo, devido ao acúmulo de sujeira, isso pode ser suficiente para praticamente zerar a produção de energia não somente na área sombreada, mas em todo o ramo série correspondente. Em geral, os painéis são afixados com uma inclinação mínima de 15° para evitar o acúmulo de sujeira e que a água da chuva possa limpá-los (Albuquerque, Maldonado e Vaz, 2017).

Nacionalmente, a energia solar já é vista como uma técnica a ser utilizada como fonte alternativa que pode ser instalado em residências visando a redução de custos, perfil de consumo de uma residência e às regulamentações de energia distribuída. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são uma opção cada vez mais viável para produção de eletricidade.

(Dassi *et al.*, 2015) defende que a utilização de energias renováveis implica diretamente nos índices de sustentabilidade, uma vez que, esse modelo pontua positivamente na diminuição de gases poluentes, no consumo de carvão mineral, óleo diesel e similares que são usados na geração térmica. A queima desses materiais gera a emissão de gases poluentes como o monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂).

Por ser uma fonte intermitente de energia dependente de diversas variáveis, a análise e dimensionamento destes sistemas é primariamente realizada com programas de simulação (Gasparin e Krenzinger, 2017). No estudo apresentado por Gasparin e Krenzinger (2017), foi utilizado o software System Advisor Model (SAM), desenvolvido pela National Renewable Energy Laboratory (NREL) nos Estados Unidos, para se obter o desempenho de um sistema fotovoltaico de 1500 Wp em diversas cidades brasileiras. Haja visto que o Brasil possui dimensões continentais, ocupando uma grande faixa de latitudes, o resultado apresentado pelos autores serve de estimativa para o desempenho e fator de capacidade ao longo de todo o território nacional. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos pelos autores, onde observa-se pelo resultado que há uma um rendimento em torno de 75% e um fator de capacidade de 16%.

O dimensionamento eficiente de placas fotovoltaicas em residências é de extrema importância para uma relação de custo benéfico atraente, deve-se levar em consideração fatores como a região de instalação, incidência solar sobre a residência, vegetação periférica ao empreendimento e características do equipamento.

Tabela 6. Parâmetros de desempenho de sistema fotovoltaico

Cidade	Latitude	Energia Anual (kWh)	Produtividade de (kWh/kWp)	Taxa de desempenho	Fator de capacidade (%)
Santa Maria - RS	29,7°S	2047	1362	0,78	15,5
Curitiba - PR	25,52°S	1920	1277	0,78	14,6
São Paulo - SP	23,62°S	2079	1383	0,77	15,8
Rio de Janeiro - RJ	22,9°S	2276	1514	0,77	17,3
Campo Grande - MS	20,47°S	2364	1573	0,77	18
Belo Horizonte - MG	19,85°S	2331	1558	0,76	17,8
Brasília - DF	15,87°S	2379	1583	0,76	17,8
Bom Jesus da Lapa - BA	13,27°S	2463	1632	0,76	18,6
Fortaleza - CE	3,78°S	2326	1548	0,75	17,5
Manaus - AM	3,13°S	1933	1286	0,73	14,7

Fonte: (Gasparin e Krenzinger, 2017).

Michels *et al.* (2010), estuda a temperatura do local e sua interferência na eficiência dos painéis e conclui que, que o aumento da temperatura, nos painéis fotovoltaicos, faz com que a eficiência diminua, devido ao decréscimo da tensão e da potência (Figura 7).

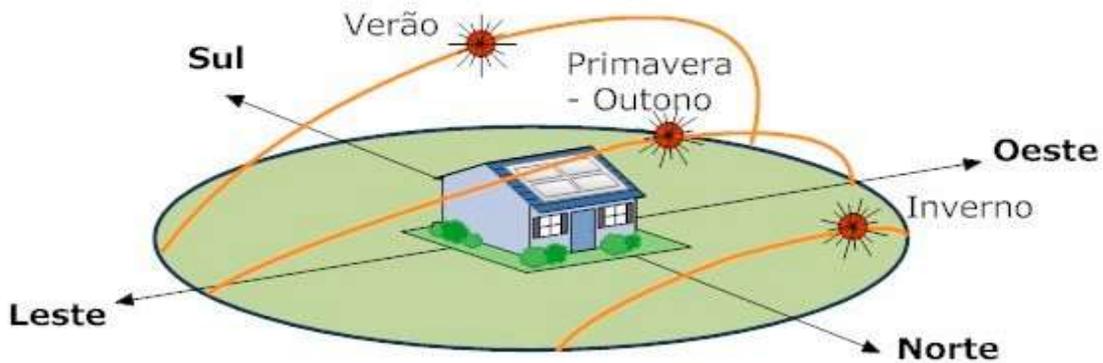


Figura 7. Variação da posição do sol com as estações do ano. Fonte: (Michels et al., 2010).

De acordo com Siqueira, 2015, a etapa inicial do dimensionamento de um sistema fotovoltaico requer a identificação do tipo de conexão da residência à rede elétrica (monofásica, bifásica ou trifásica), informação disponível no projeto elétrico ou nas contas de energia. Esse tipo de conexão define o consumo mínimo de energia, com valores de referência de 30 kWh para ligações monofásicas, 50 kWh para bifásicas e 100 kWh para trifásicas. Definido o valor de referência, o próximo passo é calcular o consumo diário dividindo-se o consumo mensal por 30 dias, conforme a Equação (5):

$$E_{dia} = \frac{kWh.mês}{30} \quad (5)$$

Em seguida, determina-se a potência de pico do sistema (W_p), obtida pela razão entre o consumo diário médio e o índice solarimétrico local (HSP), conforme indicado por Pinho e Galdino (2014). A Equação (6) define essa relação:

$$P_{FV} = \frac{E/TD}{HSP_i} \quad (6)$$

onde P_{FV} representa a potência de pico do painel em W_p , E o consumo diário em Wh/dia , TD a taxa de desempenho (adimensional) e HSP_i a média diária anual das Horas de Sol Pleno incidentes no plano do painel.

Para dimensionar o número de módulos necessários, calcula-se a razão entre a potência de pico e a potência do módulo fotovoltaico selecionado, como mostrado na Equação (7):

$$N_{módulos} = \frac{(P_{FV})}{P_{módulo}} \quad (7)$$

onde $N_{módulos}$ é o número total de módulos, P_{FV} é a potência de pico e $P_{módulo}$ é a capacidade de geração de cada módulo escolhido (Siqueira, 2015).

2.6 REÚSO DE ÁGUA

Segundo a norma brasileira referente à água de chuva NBR 15527:2019 (ABNT, 2019a) a água de chuva é definida como a água resultante de precipitação atmosféricas coletadas em coberturas e telhados, onde não haja circulação de pessoas, veículos ou animais e essa água pode ser utilizada para fins menos nobres, tais como: descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardins e limpeza de piso, sendo necessário tratamento adequado. O reuso de água em edificações pode aproveitar águas cinzas, originadas de atividades como lavagem de roupas e chuveiros, e águas de chuva, captadas diretamente das precipitações, ambas adequadas para usos não potáveis. A Norma NBR16783:2019(ABNT, 2019b), regulamenta a utilização dessas fontes alternativas em edificações, especificando tipos de usos permitidos e orientando sobre o projeto e implementação desses sistemas. Ela busca promover a eficiência no consumo hídrico, assegurando que essas águas sejam corretamente tratadas e distribuídas para atividades como irrigação de jardins, lavagem de pisos e descarga sanitária, reduzindo a pressão sobre fontes potáveis.

Não há dúvidas sobre a importância da água na execução de praticamente todas as atividades humanas, sendo desde produção agrícola até geração de energia hidrelétrica, atividades industriais e consumo humano pela população. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o adensamento populacional e o conseqüente acréscimo de vazões retiradas para atendimento às mais diversas demandas pressionam os mananciais além de suas capacidades e resultam em quadros de escassez hídrica severos, o que ocorre até mesmo em áreas abundantes em recursos hídricos (ANA, 2006). Com o aumento da população, a contínua urbanização e a exploração dos corpos d'água, o mundo enfrenta um sério desafio para atender às demandas de água para as atividades humanas (CONAGUA, 2014). Esse desafio tem promovido a busca de novas estratégias para o uso sustentável da água, incluindo o reaproveitamento da água cinza recuperada e a captação da água da chuva (García-Montoya *et al.*, 2015). De acordo com Sautchuk, (2004), para as diversas tipologias de edificações utiliza-se água com elevado grau de qualidade para os diversos usos, inclusive para aqueles que não são necessários, resultando no desperdício de "água nobre".

Fiori, et al., 2006 fazem uma avaliação quantitativa e qualitativa do reuso das águas cinzas, analisando a possibilidade de substituição de parte da água potável de uma edificação por uma de qualidade inferior para fins não nobres. Em seu trabalho, concluem que esta reutilização, além de diminuir a carga de efluentes para tratamento, a água cinza pode substituir em 100% o volume de água utilizada no vaso sanitário (Fiori, et al., 2006).

A aplicação de tecnologias de tratamento adequadas para recuperação de água da chuva pode potencialmente ajudar a melhorar a sustentabilidade e eficiência dos sistemas de reutilização de água da chuva, visando reduzir a frequência, picos e volumes de escoamento urbano e, eventualmente, diminuir a demanda de água potável. O uso da água da chuva em um edifício e o tipo de projeto de impactam significativamente a viabilidade econômica do sistema (Du *et al.*, 2019). De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2019) a coleta da precipitação que escorre sobre superfícies não transitadas precisa seguir a Norma NBR 15527:2019 (ABNT, 2019a) além disso, a utilização de fontes alternativas em edificações, se realizada em escala, pode trazer reduções significativas no consumo de água potável. Os benefícios não são somente pontuais, mas resultam também em ganhos extensivos aos sistemas de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos, reduzindo as pressões pela exploração de novos mananciais e a degradação de corpos hídricos receptores de efluentes não tratados.

Através das normas técnicas como a de Conservação de Água NBR16782:2019 (ABNT, 2019c) e de Uso de Fontes Alternativas de Água Não Potável em Edificações NBR16783:2019 (ABNT, 2019c) trouxeram critérios e padrões que servem de referência para adequação e execução de novos projetos. O aproveitamento da água de chuva, para fins não potáveis, é um sistema já utilizado em vários países a muito tempo. Além de contribuir para a conservação da água, reduzindo o consumo de água potável fornecido pelas concessionárias, auxilia na redução de enchentes nas áreas urbanas, uma vez que uma parcela da água da chuva é armazenada em reservatórios (Tomaz, 2003).

A Norma NBR 16782:2019 (ABNT, 2019c), citada, ainda informa que:

- O sistema de aproveitamento da água de chuva deve contemplar os seguintes elementos: calhas e condutores (coleta de água pluvial), dispositivos para remoção de detritos e descarte da água das primeiras chuvas, reservatórios e os dispositivos respectivos (extravasador, esgotamento, cobertura, inspeção e ventilação), bombeamento, tratamento sistema de distribuição.
- Os pontos de consumo, especialmente das áreas comuns, sejam de usos restritos (com bloqueio do dispositivo) e identificados com placas de advertência (Não-Potável).

A Tabela 7 apresenta os parâmetros bioquímicos que devem ser mantidos para a utilização da água do aproveitamento de chuva

Tabela 7. Parâmetros bioquímicos

PARÂMETRO	LIMITE	OBSERVAÇÃO
pH	6,0 a 9,0	A faixa de valores deve ser mantida em todas as amostras
E. Coli	≤ 200 NPM/100mL	
Turbidez	≤ 5 UT	
DBO	≤ 20 mg.O2/L	
Cloro Residual Livre (CRL)	Mínimo: 0,5 mg/L	
Sólidos Dissolvidos Totais	≤ 2000 mg/L ou	
Carbono Orgânico Total (COT)	≤ 4 mg/L	

Fonte: ABNT, (2019c)

Para o dimensionamento do sistema, é essencial avaliar a área de captação de água da chuva, que corresponde ao tamanho do telhado. A Norma NBR 10844:1989 (ABNT, 1989) fornece as fórmulas para calcular essa área, as quais são detalhadas na Figura 9. Cada tipo de cobertura possui um coeficiente de escoamento ("runoff"), que representa a proporção de água que esco superficialmente, como apresentado na Tabela 5. Por exemplo, telhas cerâmicas e de metal apresentam coeficientes entre 0,8 e 0,9, enquanto telhas de plástico variam de 0,9 a 0,95.

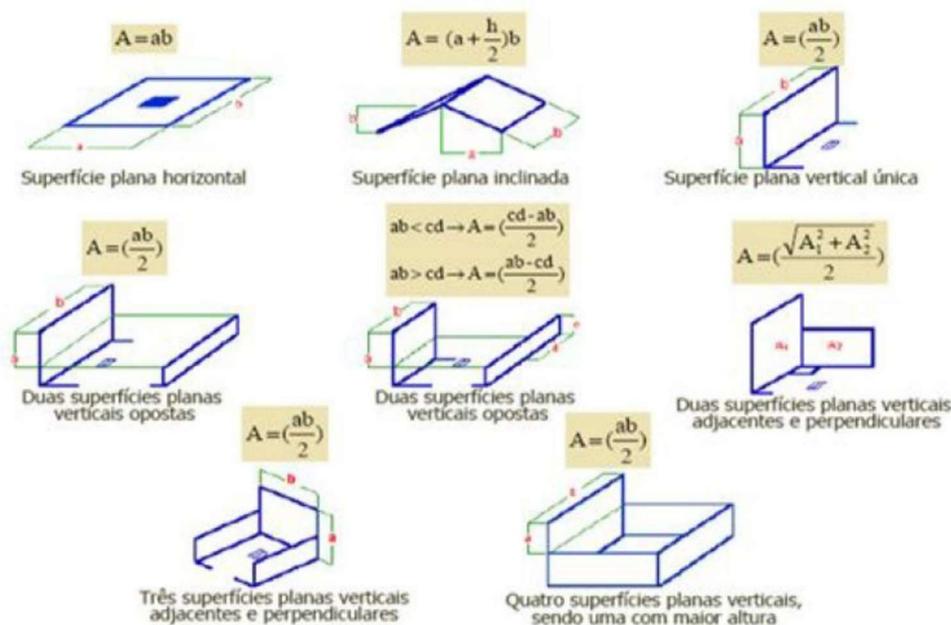


Figura 8. Equações da área de captação de água da chuva. Fonte: NBR 10844:1989

Tabela 8. Coeficiente de runoff.

Material	Coeficiente runoff
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento Amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Para calcular a vazão de projeto, que é a quantidade de água a ser captada, é necessário determinar a intensidade máxima da chuva para a região. De acordo com a NBR 10844:1989 (ABNT, 1989), a intensidade pluviométrica para fins de projeto é calculada com base em uma precipitação de 5 minutos e um período de retorno adequado à área, geralmente de 5 anos para coberturas ou terraços. A intensidade pluviométrica média é obtida pela Equação (8):

$$I = \frac{(K \cdot T)a}{(t + b)c} \quad (8)$$

Onde I é a intensidade média de precipitação máxima (mm/h), T é o período de retorno (em anos), t é a duração da precipitação (em minutos), K , a , b e c são parâmetros locais específicos.

Com a intensidade pluviométrica (I) calculada, a vazão de projeto (Q) é determinada pela Equação (9):

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \quad (9)$$

Onde Q é a vazão de projeto em L/min e A é a área de captação em m².

A norma NBR 15227 (2007) recomenda descartar os primeiros 2 mm de precipitação, pois podem conter impurezas. Para dimensionar o reservatório de água de chuva, o método de Rippl é geralmente aplicado por sua simplicidade e eficácia. Este método considera o volume acumulado de chuva e o consumo ao longo do tempo, conforme as Equações (10), (11) e (12):

$$V = \sum S(t) \text{ para } S(t) \geq 0 \quad (10)$$

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (11)$$

$$Q(t) = R \times P(t) \times A \Sigma D(t) \quad (12)$$

Onde V é o volume do reservatório (m^3), $S(t)$ é o volume de água no reservatório em t , $D(t)$ é a demanda de água em t , $Q(t)$ é o volume de chuva aproveitável em t , R é o coeficiente de escoamento superficial, $P(t)$ é o índice pluviométrico em t e A é a área de captação (m^2). É preciso salientar que existe um descarte no aproveitamento de água de chuva, perdas iniciais, os quais geram um coeficiente de descarte que varia de acordo com o tipo de cobertura, e a recomendação da norma citada acima é de 2 a 3 mm de chuva de descarte.

O máximo déficit acumulado corresponde ao maior saldo negativo acumulado entre a entrada e a saída, ou seja, o maior valor necessário para compensar os déficits no fluxo. Esse valor indica o volume útil mínimo do reservatório para assegurar que a vazão de regularização seja atendida apud (Michael, Eloy e Miriam, 2021)

Esse conjunto de cálculos permite projetar a capacidade do sistema de captação e armazenamento de água de chuva, ajustando o volume do reservatório e garantindo eficiência no uso de recursos hídricos.

Capítulo 3

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo analisa o uso de placas pré-moldadas e tecnologias de eficiência hídrica e energética para moradias de sessenta metros quadrados no programa habitacional Minha Casa Minha Vida (MCMV). A pesquisa envolveu uma análise das normas técnicas, da literatura existente e do mercado para identificar tipos de placas pré-moldadas, visando selecionar aquelas com melhor custo-benefício e eficiência de montagem, aspectos essenciais para viabilizar construções em grande escala no programa. Foram dimensionados sistemas de aquecimento solar e geração fotovoltaica de energia, otimizados para atender ao consumo de uma família de 4 pessoas, seguindo os critérios de eficiência e sustentabilidade requeridos pelo programa Minha Casa Minha Vida. Para a eficiência hídrica, incluiu-se um sistema de reaproveitamento de águas pluviais e águas cinzas, dimensionado para usos não potáveis, como descarga e irrigação, com o objetivo de reduzir o consumo de água potável e os custos associados.

A metodologia incluiu a comparação entre diferentes tipos de placas pré-moldadas, considerando as especificações de resistência, custo e tempo de montagem, com base nos requisitos do Programa. Além disso, realizou-se o dimensionamento técnico dos sistemas termo solar e fotovoltaico e uma análise de retorno financeiro, avaliando o impacto econômico do modelo de moradia sustentável. Esses métodos foram aplicados para testar a viabilidade da adoção de tecnologias sustentáveis e pré-fabricadas em habitações populares, considerando a aplicabilidade desses métodos para reduzir o impacto ambiental e o consumo de recursos no contexto brasileiro.

3.1 ANÁLISE DO USO DE PLACAS PRÉ MOLDADAS

A tecnologia de placas pré-moldadas oferece uma série de vantagens sobre a construção convencional com blocos ou tijolos, destacando-se pela velocidade de montagem e economia de insumos. A análise focou nos fatores técnicos e econômicos mais relevantes, conforme demonstrado na Tabela 5. Os dados foram obtidos por meio de consultas a empresas do mercado, que forneceram valores específicos para cada parâmetro analisado.

Durante a construção, as placas pré-moldadas são aplicadas principalmente na etapa de alvenaria, diferindo de métodos convencionais no consumo de recursos, como a água. Estudos de Marques, Gomes e Brandli, (2017) apontaram que a construção convencional consome, em média, 0,15 m³/m² de água, enquanto o método de placas pré-moldadas reduz esse valor para aproximadamente 0,016 m³/m², conforme detalhado no item 2.3. Para uma compreensão comparativa mais clara entre os métodos, a Tabela 9 apresenta os resultados e as diferenças de consumo e eficiência entre os sistemas construtivos.

Tabela 9. Comparação entre métodos Construtivos.

Aspecto	Convencional	Pré-Moldado
Consumo de Água (m ³ /m ²)	0,024 m ³ /m ² . Necessita de lavagem diária dos equipamentos e enfrenta retrabalhos devido a condições adversas.	0,016 m ³ /m ² . Menor consumo graças à padronização da produção e ao uso de superplastificantes no concreto (média das empresas consultadas em 2021).
Velocidade Construtiva (dias)	Média de 90 dias.	Média de 15 dias, podendo ser reduzida dependendo dos equipamentos de içamento disponíveis.
Mão de Obra	6 homens por dia em média.	3 homens por dia em média: 1 operando o equipamento de içamento e 2 na fixação das placas.
Custo	R\$ 1.640,70 por m ² (CUB 2021).	R\$ 1.200,00 por m ² (média das empresas consultadas em 2021).
Desperdício	Elevado desperdício de materiais (cimento, água, areia, ferro) e retrabalhos.	Produção padronizada reduz desperdícios, praticamente eliminando perdas de material.
Resistência	20 MPa (conforme NBR 6118:2003 (ABNT, 2003)).	28,26 MPa, segundo dados de laboratório certificado.

Fonte: Convencional (Pessarello, 2008) e Pre Moldado (IPT, 2020)

Para determinar a exequibilidade técnica da utilização das placas, um ensaio laboratorial para determinar a resistência foi realizado utilizando uma parte da placa fabricada pela empresa Beloforte de dimensão 60 cm por 40 cm e 20 cm de espessura. Os ensaios de compressão simples e do esclerômetro foram realizados em laboratório de acordo com a Norma NBR

15575:2013 (ABNT, 2013a). Segundo (Evangelista, 2002) o método do esclerômetro consiste em submeter a superfície do concreto a um impacto de uma forma padronizada, usando-se de uma determinada massa com uma dada energia, medindo-se o valor do ricochete, o índice esclerométrico, que por sua vez depende do valor da energia cinética antes do impacto e quanto desta energia é absorvida durante o impacto.

De acordo com a (ABNT, 2013c) antes do ensaio da placa foi realizada a limpeza da superfície e marcados os pontos de cada teste conforme a Figura 9.



Figura 9. Teste de esclerômetro.

Segundo Almeida, 2012, o método de compressão simples avalia a relação entre tensão e deformação em um material por meio da aplicação de força sobre um corpo de prova, determinando a resistência do material à carga antes de ocorrerem falhas ou deformações permanentes. No concreto, essa resistência à compressão é essencial, pois a última tensão que o corpo de prova suporta, até sua desagregação, define a capacidade do concreto em aplicações estruturais. Esta resistência à compressão é uma das propriedades mais relevantes do concreto, já que permite a derivação de outras características, como o módulo de elasticidade e a fluência. O ensaio, executado conforme normas técnicas, é ilustrado no momento do rompimento na Figura 10, onde se observa o comportamento do material sob carga.



Figura 10. Teste de compressão simples.

3.2 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA TERMO SOLAR

O dimensionamento do sistema termo solar foi realizado com base na identificação volumétrica da quantidade de água quente necessária para o consumo da residência. Os cálculos seguiram as Equações de 1 a 4 do item 2.4, complementados por dados provenientes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022) e da norma NBR 5626:1998 (ABNT, 1998).

A Tabela 10, apresenta o volume médio de consumo de água por habitante ao dia, servindo como referência para a determinação do volume total de água a ser utilizado na habitação. Esses parâmetros foram fundamentais para garantir a adequação do sistema termo solar ao perfil de consumo residencial projetado.

Tabela 10. Volume de água quente por dia.

Ponto de água quente	Volume por habitante/dia
Chuveiro	70 litros
Lavatório	20 litros
Pia de cozinha	25 litros

3.3 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento adequado de sistemas fotovoltaicos garante não apenas a autonomia energética e a redução de custos para a residência, mas também contribui diretamente para a sustentabilidade, promovendo o uso eficiente de recursos naturais e reduzindo a dependência de fontes de energia não renováveis. O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é uma etapa essencial para garantir a eficiência energética e a viabilidade econômica do projeto, alinhando o sistema às necessidades de consumo da residência e às condições locais de insolação.

Para este estudo, foi adotado o consumo médio de 150 kWh por mês, conforme dados da ANEEL para residências brasileiras em 2021, com a previsão de que o sistema fotovoltaico atenderá a necessidade energética de aquecimento de água, tradicionalmente realizada por chuveiros elétricos.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REUSO DE ÁGUA

O dimensionamento do sistema de reuso de água de chuva foi baseado em uma residência padrão de 60 m², projetada para abrigar quatro habitantes. O sistema considera exclusivamente o uso da água de reuso para fins não potáveis, como descarga de vasos sanitários, limpeza de áreas externas e irrigação de uma área gramada de 20 m².

O consumo diário estimado para o uso do vaso sanitário é de 36 litros por habitante, resultando em um consumo mensal de aproximadamente 4.320 litros. Já a limpeza das áreas externas exige um volume mensal de 500 litros, enquanto a irrigação da área verde demanda 30 litros por metro quadrado ao mês, totalizando 600 litros mensais. Assim, o consumo total estimado para os fins mencionados alcança 5.420 litros por mês.

Capítulo 4

4 RESULTADOS

4.1 PLACAS PRÉ MOLDADAS

Conforme apresentado no item 3.1, as placas pré-moldadas demonstram uma vantagem significativa em relação à construção convencional. Por meio da Tabela 11, observa-se que esse método reduz o tempo de obra de 90 para 30 dias e utiliza metade da mão de obra, passando de 6 para 3 operários, com um trabalhador operando o equipamento de içamento e dois na fixação das placas (Figura 11). Além disso, a padronização na fabricação das peças minimiza o desperdício de materiais, padronização dos processos, trazendo ganhos importantes para a eficiência do projeto.

Tabela 11: Vantagens Competitivas

	Construção Convencional	Placas Pré-Moldadas
Tempo construtivo	3 meses	30 dias
Mao de Obra	6 Homens	3 Homens
Consumo de Água	200 a 250L/m ²	160L/m ²

Em testes laboratoriais de resistência por compressão e com esclerômetro, as placas pré-moldadas alcançaram uma resistência média de 28,26 MPa, enquanto a resistência média do concreto convencional é de aproximadamente 21 MPa. Esses ensaios foram realizados em 27 pontos do corpo de prova, conforme detalhado na Tabela 12, destacando a superioridade estrutural e a sustentabilidade das placas pré-moldadas frente aos métodos tradicionais.

Tabela 12. Pontos de teste de resistência pelo esclerômetro em Mpa.

25	27	26	21	28	40	32	28	25
22	25	28	32	32	31	29	32	24
18	25	31	35	33	33	34	26	21

Na construção civil convencional, o Custo Unitário Básico (CUB) é utilizado como referência oficial para refletir a variação de custos, e, em dezembro de 2021, esse valor foi estimado em R\$ 1.908,14/m² construído (CBIC, 2022). Em comparação, para as placas pré-moldadas na

construção residencial, foi realizada uma pesquisa de mercado com base nas dimensões específicas das residências do Programa Minha Casa Minha Vida. Essa pesquisa, conduzida por meio de orçamentos junto a empresas especializadas como Beloforte, Jet Casa e Habitar Tecnologia (referenciadas no Anexo 1), indicou uma média de R\$ 1.390,00/m². Esses valores não incluem despesas de transporte do material da fábrica para o local da obra, em Atibaia, exceto no orçamento da Beloforte, que já considerou esse custo. A Tabela 13 resume e compara esses valores.

Tabela 13. Comparativo entre Métodos Construtivos.

Método de Construção	Custo por m²	Fontes de Referência	Observações sobre Transporte
Construção Convencional	R\$ 1.908,14/m ²	CBIC, 2022	Não aplicável
Placas Pré-Moldadas	R\$ 1.390,00/m ² (média)	Beloforte, Jet Casa, Habitar Tecnologia	Transporte para Atibaia não incluído, exceto no orçamento da Beloforte



Figura 11. Modelo de construção por placas pré-moldadas.

4.2 TERMO SOLAR

O sistema de aquecimento termo solar foi dimensionado para atender às necessidades de quatro habitantes, com o volume de consumo diário calculado conforme a Tabela 14.

Tabela 14. Volume de água quente por dia.

Ponto de água quente	Volume por habitante/dia	Nº de habitantes	Volume final/dia
Chuveiro	70 litros	4	280 litros
Lavatório	20 litros	4	80 litros
Pia de cozinha	25 litros	4	100 litros
Total			460 litros

Com base no cálculo do volume diário de 460 litros, o volume de armazenamento foi calculado usando a Equação (1), considerando uma temperatura de armazenamento de 50°C e temperatura ambiente de 25°C, resulta em um volume mínimo de 276 litros para o boiler. No entanto, para garantir a oferta de água quente de forma contínua, adota-se uma reserva equivalente a 75% do consumo diário, que eleva o volume de armazenamento ideal para 345 litros. A Tabela 15 resume os resultados obtidos para o volume ideal de armazenamento.

Tabela 15. Volume de armazenamento.

Parâmetro	Valor
Consumo Diário de Água Quente	460 litros
Temperatura de Armazenamento	50°C
Temperatura Ambiente	25°C
Volume Mínimo de Armazenamento (Calculado)	276 litros
Reserva Adicional (75% do Consumo Diário)	345 litros
Volume Ideal de Armazenamento	345 litros

A energia útil diária necessária, calculada pela Equação (2), é de 10,01 kWh, enquanto a área de coleta, determinada pela Equação (3), foi estimada em 5,71 m². Esse dimensionamento indica a necessidade de 3 placas coletoras, cada uma medindo 2 m por 1 m. Considerando o custo médio de R\$ 2.851,00 por metro quadrado de placa coletora, o valor total do sistema foi estimado em R\$ 8.553,00 (Tabela 17). A seguir, a Tabela 16 apresenta os valores de placas coletoras obtidos em orçamentos realizados junto às empresas JF Telhas, Renove Solar e Ensolar.

Tabela 16. Custos resultantes da pesquisa de mercado.

Empresa	Valor (R\$)
JF Telhas	2.933,00
Renove Solar	2.736,00
Ensolar	2.886,00
Custo Médio	2.851,00

Tabela 17. Especificações e custos.

Parâmetro	Valor
Energia Útil Diária Necessária	10,01 kWh
Área de Coleta Necessária	5,71 m ²
Número de Placas Coletoras	3 placas
Dimensões de Cada Placa Coletora	2 m x 1 m
Custo por Metro Quadrado da Placa	R\$ 2.851,00
Custo Total do Sistema	R\$ 8.553,00

4.3 FOTVOLTAICO

O sistema solar fotovoltaico foi dimensionado com base no consumo médio residencial brasileiro de 150 kWh por mês. Através da Equação (5), obteve-se um consumo diário de 5.000 Wh/dia. Em seguida, aplicando a Equação (6), foi determinada a potência de pico necessária, calculada em 833 Wp. Para atender a essa potência, foram considerados módulos fotovoltaicos de 445 W cada. Assim, a razão entre a potência necessária e a capacidade dos módulos resulta em 2,2 painéis (Equação (7)), o que permite executar o projeto com 2 ou 3 painéis, dependendo da decisão de tornar a residência autossuficiente ou parcialmente dependente da concessionária. A Tabela 18 resume os valores calculados e as especificações do sistema.

Tabela 18. Especificações do Sistema Fotovoltaico.

Parâmetro	Valor Calculado	Unidade	Fórmula Aplicada
Consumo Mensal	150	kWh/mês	Valor de referência (ANEEL)
Consumo Diário	5.000	Wh/dia	Equação (5)
Potência de Pico	833	Wp	Equação (6)
Potência do Módulo	445	W	Valor de mercado
Número de Módulos	2 a 3	Painéis	Equação (7)

Com essas informações, o sistema pode ser dimensionado para operar com dois ou três painéis fotovoltaicos, dependendo da meta de autossuficiência ou da intenção de complementar o consumo com a energia da concessionária.

Em relação aos custos, Siqueira (2015) especifica e orça um sistema de geração fotovoltaica com três placas, totalizando R\$ 10.000,00. No entanto, com a evolução do mercado e a disponibilidade de novos equipamentos, diferentes configurações e métodos de dimensionamento estão se tornando viáveis. Para o caso em análise, optou-se por uma configuração com três módulos, considerando o custo-benefício atual. Foi realizada uma pesquisa de mercado para determinar o custo médio de implantação do sistema, considerando alternativas com 2 e 3 módulos. A Tabela 19 resume os valores obtidos de fornecedores locais.

Tabela 19. Valores resultantes da pesquisa de mercado.

Configuração	Empresa 1 (Sul de Minas)	Empresa 2 (Bragança)	Empresa 3 (Atibaia)	Valor Médio
3 Módulos	R\$ 13.501,12	R\$ 12.147,00	R\$ 11.490,30	R\$ 12.379,47
2 Módulos	R\$ 11.240,00	R\$ 9.089,00	R\$ 8.254,35	R\$ 10.164,50

A escolha entre as configurações com 2 ou 3 módulos dependerá da necessidade de autossuficiência e do orçamento disponível. A Figura 12 ilustra um dos orçamentos detalhados obtidos durante a pesquisa.

PROPOSTA::			
Demanda Energética (kWh/mês)::		150	
Potência do Projeto (kWp)::		1,34	
Estimativa de Geração de Energia Mensal (kWh/mês)		153	
Área total (m²)::		14	
Quantidade Total Painéis [und]::		3	
INVESTIMENTO	Qtd.	Valor Unitário	Valor TOTAL
Módulo Solar Fotovoltaico::	3,00	R\$ 1.110,68	R\$ 3.332,04
Inversor de Frequência::	1,00	R\$ 3.609,84	R\$ 3.609,84
Estrutura de Fixação Solar::	1,00	R\$ 674,01	R\$ 674,01
Materials Elétricos DC::	1,00	R\$ 776,65	R\$ 776,65
Materials Elétricos AC::	1,00	R\$ 1.000,85	R\$ 1.000,85
Instalação/Engenharia::	1,00	R\$ 1.651,44	R\$ 1.651,44
Projeto/Consultoria::	1,00	R\$ 1.228,92	R\$ 1.228,92
		TOTAL::	R\$ 12.273,75
		R\$/W::	R\$ 9,19
Limite: 10% ou R\$ 10.000,00 - Somente tabela FULL		PLUS DE VENDA::	10,00%
Bifásico - 12 anos / Trifásico - 10 anos		Garantia Estendida 5 anos::	NÃO
			R\$ -
		TABELA FULL::	R\$ 13.501,12

Figura 12. Orçamento do sistema fotovoltaico.

4.4 REUSO DE ÁGUA

O orçamento do sistema de reuso de água usou como base de cálculo a metragem de 60 metros quadrados de área construída e 4 moradores, também foi considerado que há uma área de gramado de 20 metros quadrados, o que demanda de um total de 600 litros de água ao mês. Considerando a limpeza/lavagem do piso externo, o mesmo demandaria de um volume de 500 litros mês. Para o uso do sanitário é considerado uma média de 36 litros por pessoa por dia, o que resulta em um volume mensal de 4.320 litros mês. No total o sistema de reuso necessita ser dimensionado para 5.420 litros mês. No que tange ao telhado, para dimensionamento da captação da água de chuva é prioritário determinar o local da residência e selecionar a estação pluviométrica mais adequada, ou seja, dados mais confiáveis possíveis, série histórica mais completa e proximidade da localização estipulada.

O método de Rippl citado no item 2.6 foi utilizado para a determinação do volume mínimo do reservatório, abaixo na tabela 21, e para isso, dados pluviométricos mensais da estação meteorológica de Atibaia, foram utilizados e plotados para obtenção das médias na tabela 20.

Tabela 20: Série Histórica Pluviométrica de Atibaia

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2001	138,7	142,7	136,1	52,8	72,7	15,0	17,7	38,0	55,6	210,6	150,0	277,2
2002	296,7	228,0	131,2	14,5	75,6	0,5	8,1	41,7	61,5	54,7	134,1	156,7
2003	321,7	104,7	103,7	27,4	50,5	19,8	17,3	12,5	27,9	136,9	77,7	211,1
2004	154,0	193,2	53,2	131,5	112,4	95,1	75,8	2,3	25,6	161,3	181,9	144,7
2005	204,0	94,7	251,9	28,4	133,4	33,8	27,3	10,9	81,6	163,1	152,9	154,7
2006	292,2	204,7	203,5	30,3	22,7	22,5	67,3	11,0	83,3	62,7	140,3	217,9
2007	308,3	29,8	93,6	72,2	57,8	33,5	193,7	0,0	10,8	60,4	205,1	160,7
2008	206,0	148,4	152,6	156,3	52,4	50,0	0,2	67,2	40,2	109,0	118,4	153,6
2009	195,4	184,2	110,3	58,8	73,3	65,1	120,7	43,9	117,0	117,1	227,6	398,0
2010	417,6	82,1	164,4	56,2	18,7	15,9	118,6	0,3	74,3	69,9	109,7	177,3
2011	474,5	129,3	197,4	121,4	30,2	58,2	4,6	34,8	19,3	127,8	166,9	126,7
2012	338,6	150,6	52,9	138,7	65,4	189,3	57,7	0,0	14,7	136,7	88,1	279,7
2013	166,9	165,6	122,4	71,1	42,4	49,3	60,5	10,4	49,5	100,3	100,6	91,5
2014	56,2	62,2	91,2	146,6	24,1	6,4	40,6	10,7	75,7	21,8	131,3	154,9
2015	94,7	237,2	129,0	12,5	52,3	25,4	37,3	31,5	163,8	82,5	179,0	138,9
2016	281,2	289,3	199,1	8,4	87,9	161,6	2,3	48,0	26,2	129,3	98,0	130,6
2017	296,4	104,9	116,3	63,3	127,5	40,6	0,8	24,6	14,2	70,6	174,5	53,6
2018	217,9	89,4	156,7	4,1	8,6	23,1	3,1	69,6	46,7	179,3	144,3	100,8
2019	232,2	196,8	105,7	115,8	29,0	28,5	79,0	9,7	51,8	24,6	167,4	155,7
2020	224,8	411,7	50,0	0,5	11,9	68,6	7,6	53,6	22,4	88,7	115,3	163,3
2021	194,0	112,3	134,4	4,6	42,2	24,1	32,0	15,5	25,9	107,9	75,2	106,9
2022	184,7	69,9	196,6	19,3	45,7	27,7	2,5	33,0	82,3	92,0	117,1	300,3
2023	181,6	169,9	184,0	70,1	17,5	54,4	6,1	26,2	80,5	211,3	144,0	76,2
2024	139,2	173,5	98,8	15,8	57,2	0,0	36,6	49,3	6,4	158,7	155,2	321,6
MÉDIA	234,1	157,3	134,8	59,2	54,6	46,2	42,4	26,9	52,4	111,6	139,8	177,2

Fonte: CIIAGRO, (2025)

Tabela 21: Método de Rippl

Mês	Precipitação (mm)	Captação mensal [m³] Area (78m²)	Demanda mensal vasos [m³]	Demanda mensal jardinagem [m³]	Demanda mensal total [m³]	Diferença oferta-demanda[m³]	Diferença acumulada [m³]
Janeiro	234,1	18,1	4,32	1,10	5,42	12,7	12,68
Fevereiro	157,3	12,1	4,32	1,10	5,42	6,7	19,37
Março	134,8	10,4	4,32	1,10	5,42	4,9	24,31
Abril	59,2	4,5	4,32	1,10	5,42	-1,0	23,35
Maiο	54,6	4,1	4,32	1,10	5,42	-1,3	22,04
Junho	46,2	3,4	4,32	1,10	5,42	-2,0	20,06
Julho	42,4	3,2	4,32	1,10	5,42	-2,3	17,80
Agosto	26,9	1,9	4,32	1,10	5,42	-3,5	14,31
Setembro	52,4	3,9	4,32	1,10	5,42	-1,5	12,82
Outubro	111,6	8,5	4,32	1,10	5,42	3,1	15,95
Novembro	139,8	10,7	4,32	1,10	5,42	5,3	21,28
Dezembro	177,2	13,7	4,32	1,10	5,42	8,2	29,52

Fonte: Autor

O máximo déficit acumulado foi no mês de agosto, com o valor de 3500L, evidenciado em vermelho na tabela.

Os custos de implantação foram adquiridos mediante uma consulta orçamentária para a empresa Hidrotec,(Hidrotec, 2021) o qual foi orçada em R\$ 24.091,27, ilustrada na Figura 13.

HIDROTEC www.hidrotecengenharia.com.br		CLIENTE:	Karoline	REF:	HT-352-062021
		LOCALIZ:	Cascavel-PR	DATA:	25/06/2021
		PROJETO:	Reaproveitamento de água de chuva (1)	Rev.0	
		UNID	UNITÁRIO [R\$]	QTD	TOTAL [R\$]
RAC					
Itens para compra					
Filtro corta folha/resíduos		unid	R\$ 295,00	1	R\$ 295,00
Cisterna com filtro tecnotri - captação inferior (3000L)		unid	R\$ 6.190,00	1	R\$ 6.190,00
Caixa d'água superior - armazenamento distribuição (500l)		unid	R\$ 396,27	1	R\$ 396,27
Filtro de areia pequeno		unid	R\$ 460,00	1	R\$ 460,00
				Subtotal	R\$ 7.341,27
Hidrotec					
Projeto implantação + ART		unid	R\$ 4.800,00	1	R\$ 4.800,00
Sistema de bombeamento + quadro elétrico		unid	R\$ 7.980,00	1	R\$ 7.980,00
Boias / sensores / torneira e acessórios		cj	R\$ 980,00	1	R\$ 980,00
Mobilização instalação equipamentos Hidrotec		vb	R\$ 2.990,00	1	R\$ 2.990,00
				Subtotal	R\$ 16.750,00
Total					R\$ 24.091,27
Condição de pagamento					
Entrada projeto	30%	R\$ 7.227,38			
Conclusão	35%	R\$ 8.431,94			
30 dias após conclusão	35%	R\$ 8.431,94			

Figura 13. Orçamento do sistema de reuso de água. Fonte: Hidrotec.

4.5 CUSTO FINAL E ANÁLISE

A unidade familiar considerada neste trabalho possui uma área de construção de 60 m², abrigando quatro habitantes. Com base nesses dados, foram calculados os custos básicos para duas metodologias: uma construção convencional e uma residência eficiente, com inserção de tecnologias de sustentabilidade. O custo da residência eficiente, que incorpora pré-moldados e tecnologias de economia de energia e água, foi estimado em R\$ 1.742,22 por metro quadrado, totalizando R\$ 104.533,50 para a residência modelo. Em contrapartida, o custo da construção convencional, com base no CUB (Custo Unitário Básico), é de R\$ 1.640,70 por metro quadrado, resultando em um total de R\$ 98.442,00 para a mesma área.

Assim, a diferença entre os modelos é de aproximadamente 12%, representando o acréscimo relacionado às tecnologias de eficiência que trazem benefícios em economia de recursos ao longo do tempo. A Tabela 22 resume esses valores para comparação.

Tabela 22. Custo final.

Tipo de Construção	Custo por m ² (R\$)	Área Total (m ²)	Custo Total (R\$)
Residência Eficiente	R\$ 1.742,22	60 m ²	R\$ 104.533,50
Construção Convencional	R\$ 1.640,70	60 m ²	R\$ 98.442,00

A tabela destaca a diferença de custo entre o modelo convencional e o eficiente, refletindo o investimento adicional em tecnologias para reduzir o consumo de energia e água.

A Tabela 23 apresenta o fluxo de caixa projetado ao longo de 10 anos, considerando como déficit inicial a diferença de custo entre o método convencional e a construção da casa eficiente (ilustrado pelo gráfico da Figura 14). Com uma tarifa de energia elétrica de R\$ 1,01 por kWh (interior de São Paulo), o custo anual de energia para um consumo médio de 150 kWh/mês seria de R\$ 1.821,51. Ao reajustar em 5% a tarifa, estima-se que o saldo inicial será quitado em aproximadamente 3,5 anos, e a economia ao longo de 10 anos alcançará R\$ 16.819,26.

Tabela 23. Fluxo de caixa projetado.

Ano	Déficit Inicial (R\$)	Economia Anual (R\$)	Saldo Acumulado (R\$)
1	-6.091,50	1.821,51	-4.269,99
2	-4.269,99	1.912,59	-2.357,40
3	-2.357,40	2.008,21	-349,19
4	-349,19	2.108,63	1.759,44
5	1.759,44	2.214,06	3.973,49
6	3.973,49	2.324,76	6.298,25
7	6.298,25	2.441,00	8.739,25
8	8.739,25	2.563,05	11.302,30
9	11.302,30	2.691,20	13.993,50
10	13.993,50	2.825,76	16.819,26

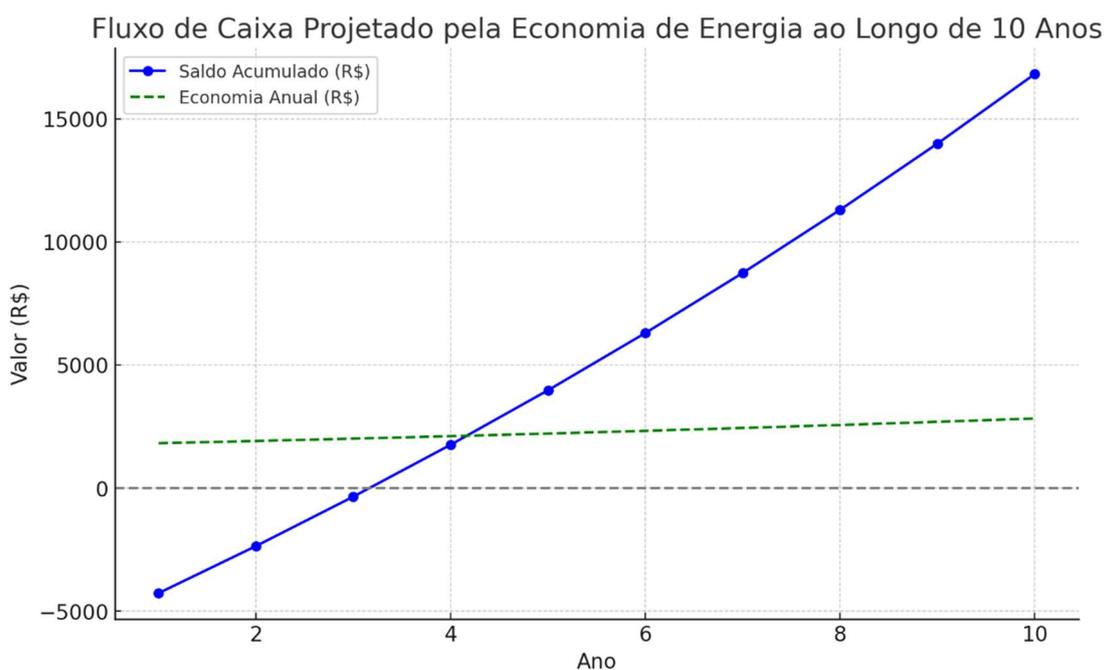


Figura 14. Fluxo de caixa projetado.

Capítulo 5

5 CONCLUSÕES

A construção de habitações eficientes e sustentáveis é essencial para o cumprimento das metas definidas nas Conferências sobre Meio Ambiente e Sustentabilidade, além de contribuir para o desenvolvimento urbano resiliente.

Projetar residências que promovam a redução do consumo energético e a otimização de recursos naturais, por meio de tecnologias inovadoras, torna-se não apenas ambientalmente necessário, mas também economicamente vantajoso, especialmente no âmbito de programas habitacionais como o Minha Casa Minha Vida. A implementação de tecnologias sustentáveis, como sistemas termo solares, painéis fotovoltaicos, e o uso de placas pré-moldadas, garante a sustentabilidade energética e econômica das construções. Esses sistemas viabilizam a geração de energia a partir de fontes renováveis, que, além de reduzirem os custos de operação das moradias, contribuem para a descarbonização da matriz energética do país. A inclusão de sistemas de captação e reuso de águas pluviais para utilização em áreas não potáveis, como descarga de vasos sanitários e irrigação, amplia os ganhos futuros para os residentes, mitigando o consumo de água potável e aliviando a pressão sobre os recursos hídricos, fator essencial em regiões afetadas pela crise hídrica.

Este estudo apresentou uma análise detalhada da viabilidade técnica e econômica para novas construções habitacionais sustentáveis, considerando uma residência de 60m² projetada para uma família de quatro pessoas no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida.

Embora o custo inicial da construção sustentável seja cerca de 12% superior ao da construção convencional, essa diferença é compensada ao longo do tempo pela economia proporcionada nos gastos com energia elétrica e água. A análise revelou que o uso dessas tecnologias resulta em uma redução significativa das contas mensais, tornando o investimento em habitações sustentáveis financeiramente vantajoso para os moradores.

O uso de tecnologias como placas pré-moldadas, além dos benefícios econômicos diretos para os residentes, no processo construtivo, economiza água e reduz a geração de resíduos, promovendo uma cadeia de produção menos agressiva ao meio ambiente. No total, a diferença no consumo de água durante o processo de construção chega a ser de 40 litros por metro

quadrado em comparação ao método tradicional, evidenciando o impacto positivo de práticas construtivas sustentáveis.

O sistema de aquecimento termo solar e fotovoltaico proporcionam vantagens estratégicas, como conforto térmico, baixa manutenção, valorização do imóvel, menor dependência da rede elétrica, integração com outros sistemas, além de economia financeira e sustentabilidade ambiental. Além disso, os incentivos fiscais e financiamentos atuais estão popularizando essa tecnologia cada vez mais.

Ao adotar tecnologias que promovem eficiência energética e hídrica, as habitações não só proporcionam maior conforto térmico e segurança hídrica e energética aos moradores, como também aumentam a resiliência das famílias frente às oscilações dos custos de serviços públicos. Em uma perspectiva ampliada, a implementação em larga escala de práticas sustentáveis em programas habitacionais populares pode gerar efeitos positivos na infraestrutura urbana, ao reduzir a demanda sobre os sistemas de distribuição e tratamento de energia e água, beneficiando a gestão pública e possibilitando uma alocação mais eficiente dos recursos.

Assim, esta dissertação confirma a viabilidade técnica e econômica das habitações sustentáveis, reforçando a importância de políticas públicas que incentivem o uso de tecnologias sustentáveis no âmbito de programas habitacionais de larga escala, como o Minha Casa Minha Vida. Integrar essas práticas em uma política habitacional representa uma abordagem estratégica para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e promover um desenvolvimento urbano mais sustentável no Brasil. A construção de moradias sustentáveis emerge, portanto, como um pilar fundamental para que o país alcance suas metas de sustentabilidade, reduzindo sua pegada ecológica e apoiando uma economia verde inclusiva e orientada para o futuro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR 10844:1989 Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- _____. **NBR 6118:2003 Projeto de estruturas de concreto**. [s.l: s.n.].
- _____. **NBR 15575:2013 Desempenho de Edificações Habitacionais**, 2013a.
- _____. **ABNT NBR 15575: Desempenho de Edificações Habitacionais**Rio de Janeiro, 2013b.
- _____. **NBR 7584:2013 Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. [s.l: s.n.].
- _____. **NBR 9062:2017 Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**, 2017.
- _____. **NBR 15527:2019 Aproveitamento de água de chuva**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- _____. **NBR 16783:2019 Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**, 2019b.
- _____. **NBR 16782:2019 Conservação de Água em Edificações**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- ALBUQUERQUE; MALDONADO; VAZ. UM LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 5, 2017.
- ALMEIDA, S. M. DE. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de Cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante**, nov. 2012.
- ANA. **Câmara Brasileira da Indústria da Construção** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, , 2006.
- BARBOSA, R. DA S. **Comparação de custos entre a utilização de alvenaria de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto para a construção de unidades habitacionais unifamiliares**Paraíba, Brasil, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/24865>>
- BELOFORTE. **BeloForte**. Disponível em: <<https://www.beloforte.com.br>>.
- BOCANEGRA-MARTÍNEZ, A. *et al.* Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 84, p. 44–56, mar. 2014.

BOŠNJAKOVIĆ, M. Advance of Sustainable Energy Materials: Technology Trends for Silicon-Based Photovoltaic Cells. **Sustainability**, v. 16, n. 18, p. 7962, 12 set. 2024.

BOYD, N.; KHALFAN, M. M. A.; MAQSOOD, T. Off-Site Construction of Apartment Buildings. **Journal of Architectural Engineering**, v. 19, n. 1, p. 51–57, mar. 2013.

BRASIL. Lei no 14.620, de 17 de julho de 2023. . 2023.

BRASIL, P. DA R. Lei Nº 11.977, de 7 de julho de 2009. . 2009.

____. Lei Nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021. . 2021.

CBIC. GUIA ORIENTATIVO DAS NORMAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA, FONTES ALTERNATIVAS NÃO POTÁVEIS E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES Câmara Brasileira da Indústria da Construção, , 2019.

CHANG, N.-B.; RIVERA, B. J.; WANIELISTA, M. P. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 11, p. 1180–1188, jul. 2011.

CHEN, Y.; OKUDAN, G. E.; RILEY, D. R. Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. **Automation in Construction**, v. 19, n. 2, p. 235–244, mar. 2010.

CIIAGRO. CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS . Disponível em: <<http://www.ciiagro.org.br>>. Acesso em: 28 jan. 2025.

CLEMENTS-CROOME, D. Challenges and Opportunities for Building Services in the 21st Centuryout. 2005

CONAGUA. **CONAGUA**, 2014. Disponível em: <<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=56&n3=335&n4=335>>

DASSI, J. A. *et al.* Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. . **Anais Do Congresso Brasileiro De Custos**, 2015.

DU, X. *et al.* The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse: Implications of roofing rainwater energy and rainwater purification. **Science of the Total Environment**, v. 697, p. 134187, out. 2019.

EVANGELISTA, A. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO USANDO DIFERENTES ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

- FERREIRA, F. P. V. *et al.* Steel-Concrete Composite Beams with Precast Hollow-Core Slabs: A Sustainable Solution. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4230, 10 abr. 2021.
- FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 1, p. 19–30, 2006a.
- _____. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 1, p. 19–30, 2006b.
- GARCÍA-MONTOYA, M. *et al.* Simultaneous design of water reusing and rainwater harvesting systems in a residential complex. **Computers and Chemical Engineering**, v. 76, p. 104–116, out. 2015.
- GASPARIN, F. P.; KRENZINGER, A. Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel. **Associação Brasileira de energia Solar**, v. 8, n. 1, p. 10–17, 2017.
- GASSIE, L. W.; ENGLEHARDT, J. D. Advanced oxidation and disinfection processes for onsite net-zero greywater reuse: A review. **Water Research**, v. 125, p. 384–399, nov. 2017.
- GAUTAM, A. *et al.* A review on technical improvements, economic feasibility and world scenario of solar water heating system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, nov. 2017.
- GOOD, C.; ANDRESEN, I.; HESTNES, A. G. Solar energy for net zero energy buildings – A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic–thermal (PV/T) systems. **Solar Energy**, v. 122, p. 986–996, dez. 2015.
- GURUNG, T. R. *et al.* Smart meter enabled water end-use demand data: platform for the enhanced infrastructure planning of contemporary urban water supply networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 642–654, jan. 2015.
- HABITAR. **Habitar**, 2024. Disponível em: <<http://habitar.ind.br>>
- HERRANDO, M.; MARKIDES, C. N.; HELLGARDT, K. A UK-based assessment of hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heating and power: System performance. **Applied Energy**, v. 122, p. 288–309, jun. 2014.
- HIDROTEC ENGENHARIA. **Hidrotec Engenharia**. Disponível em: <<https://www.hidrotecengenharia.com.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

- HOLTON, I.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. Managing for sustainability: findings from four company case studies in the UK precast concrete industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 2, p. 152–160, jan. 2010.
- HU, X.; CHONG, H.-Y.; WANG, X. Sustainability perceptions of off-site manufacturing stakeholders in Australia. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 346–354, ago. 2019.
- IBRAHIM, O. *et al.* Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects. **Building and Environment**, v. 72, p. 259–286, fev. 2014.
- IPT. **Sistema de vedação vertical com função estrutural constituído de painéis pré-moldados de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado – JET CASA**, 2020.
- JAMAR, A. *et al.* A review of water heating system for solar energy applications. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 76, p. 178–187, ago. 2016.
- KAABECHE, A.; BELHAMEL, M.; IBTIOUEN, R. Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system. **Energy**, v. 36, n. 2, p. 1214–1222, fev. 2011.
- KAMALI, M. *et al.* Environmental sustainability assessment of single-family modular homes using performance benchmarks of conventional homes: case studies in British Columbia, Canada. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 25, n. 8, p. 2603–2628, 31 out. 2023.
- KAVVADA, O. *et al.* Assessing Location and Scale of Urban Nonpotable Water Reuse Systems for Life-Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 24, p. 13184–13194, 20 dez. 2016.
- LI, L. *et al.* A new framework of industrialized construction in China: Towards on-site industrialization. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118469, jan. 2020.
- LI, Z.; SHEN, G. Q.; XUE, X. Critical review of the research on the management of prefabricated construction. **Habitat International**, v. 43, p. 240–249, jul. 2014.
- LIMA, J. **Habitação no Brasil tem déficit quantitativo e qualitativo, diz pesquisa**. Disponível em: <<https://observatorio3setor.org.br/habitacao-no-brasil-tem-deficit-quantitativo-e-qualitativo-diz-pesquisa/>>.
- LIMA, J. B. A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 17 dez. 2003.

MARQUES, C. T.; GOMES, B. M. F.; BRANDLI, L. L. Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 79–90, out. 2017.

MICHAEL MANNICH; ELOY KAVISKI; MIRIAM RITA MORO MINE. REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES INTRA-ANUAL: COMPARAÇÃO DE MÉTODOS. **XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2021.

MICHELS, R. N. *et al.* A influência da temperatura na eficiência de painéis fotovoltaicos em diferentes níveis de incidência da radiação solar. **Revista Agrogeoambiental**, p. 105–110, 2010.

MO, W.; ZHANG, Q. Can municipal wastewater treatment systems be carbon neutral? **Journal of Environmental Management**, v. 112, p. 360–367, dez. 2012.

MOORE, JR. , J. A.; PUBANTZ, J. **The New United Nations**. New York: Routledge, 2022.

MU'AZU, N. D.; ABUBAKAR, I. R.; BLAISI, N. I. Public acceptability of treated wastewater reuse in Saudi Arabia: Implications for water management policy. **Science of The Total Environment**, v. 721, p. 137659, jun. 2020.

NAVARATNAM, S. *et al.* The challenges confronting the growth of sustainable prefabricated building construction in Australia: Construction industry views. **Journal of Building Engineering**, v. 48, p. 103935, maio 2022.

NUNES DE SOUSA, L. Y. ESTUDO DA VIABILIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**, v. 3, n. 1, p. 35–42, 26 jun. 2018.

OGUNJUYIGBE, A. S. O.; AYODELE, T. R.; AKINOLA, O. A. Optimal allocation and sizing of PV/Wind/Split-diesel/Battery hybrid energy system for minimizing life cycle cost, carbon emission and dump energy of remote residential building. **Applied Energy**, v. 171, p. 153–171, jun. 2016.

OLÉ CASAS. **Olé Casas**, 2024. Disponível em: <<https://olecasas.com.br>>

OLIVEIRA, W. C. DE; SANTOS, R. O. G. Viabilidade do uso de placa pré-moldada de concreto em casas no estado do Tocantins. **Engineering Sciences**, v. 9, n. 1, p. 53–67, 26 mar. 2021.

PESSARELLO, R. G. **Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: avaliação e fatores influenciadores.** [s.l.] Escola Politecnica da Universidade de Sao Paulo, 2008.

POORTVLIET, P. M. *et al.* Acceptance of new sanitation: The role of end-users' pro-environmental personal norms and risk and benefit perceptions. **Water Research**, v. 131, p. 90–99, mar. 2018.

RAIMO, P. A. **Aquecimento de água no setor residencial.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 28 ago. 2007a.

_____. **Aquecimento de água no setor residencial.** nov. 2007b.

RAISUL ISLAM, M.; SUMATHY, K.; ULLAH KHAN, S. Solar water heating systems and their market trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 17, p. 1–25, jan. 2013.

REICHENBACH, S.; KROMOSER, B. State of practice of automation in precast concrete production. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 102527, nov. 2021.

ROCHA, F. M. D. *et al.* Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 47–60, jun. 2013.

SAMPLE, D. J.; LIU, J. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. **Journal of Cleaner Production**, v. 75, p. 174–194, jul. 2014.

SAUTCHUK, C. A. **Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de água em edificações.**, out. 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-13122004-145038/>>

SILVA, N. N. *et al.* Levantamento de soluções tecnológicas em concreto para habitações de interesse social. **ResearchGate**, 2013.

SIQUEIRA, L. M. DE. **Estudo do Dimensionamento e da Viabilidade Econômica de Microgerador Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica.** [s.l: s.n.].

SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G. Concrete building blocks made with recycled demolition aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 2, p. 726–735, fev. 2011.

TAVARES, V. *et al.* Prefabricated versus conventional construction: Comparing life-cycle impacts of alternative structural materials. **Journal of Building Engineering**, v. 41, p. 102705, set. 2021.

TAVARES, V *et al.* Prefabricated versus conventional construction: Comparing life-cycle impacts of alternative structural materials. **Journal of Building Engineering**, v. 41, p. 102705, nov. 2021.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de chuva: Para Áreas Urbanas e fins não Potáveis.** [s.l.] Navegar, 2003.

WANG, S.; SINHA, R. Life Cycle Assessment of Different Prefabricated Rates for Building Construction. **Buildings**, v. 11, n. 11, p. 552, 17 nov. 2021.

WANG, Z. *et al.* Applications of solar water heating system with phase change material. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, out. 2015.

WEISS, M. C.; BERNARDES, R. C.; CONSONI, F. L. CIDADES INTELIGENTES: casos e perspectivas para as cidades brasileiras. **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, v. 5, n. 1, p. 1–13, 2017.

WOLCH, J. R.; BYRNE, J.; NEWELL, J. P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough’. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 234–244, maio 2014.

WU, Z. *et al.* A comparative analysis of waste management requirements between five green building rating systems for new residential buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 895–902, jan. 2016.

YU, S. *et al.* Review of thermal and environmental performance of prefabricated buildings: Implications to emission reductions in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 137, p. 110472, mar. 2021.

ZIPF, M. S.; PINHEIRO, I. G.; CONEGERO, M. G. Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated carbon. **Journal of Environmental Management**, v. 176, p. 119–127, jul. 2016.

7 ANEXOS

7.1 ORÇAMENTO BELOFORTE



(11) 98900-7384 e-mail: contato@beloforte.com.br site www.beloforte.com.br
Belo Forte Comércio e Indústria de Artefatos de Cimento Ltda
Estrada Bairro Ribeirão Acima S/Nº. Nazaré Paulista/SP. CEP: 12960-000

ORÇAMENTO PRELIMINAR

Cliente: **RODOLFO BESENBRUCH**

Local da obra: **BRAGANÇA PAULISTA/SP**

Previsão de início: **OUTUBRO/22**

Tipo de Obra: **CASA TÉRREA (50M2), SOMENTE ESTRUTURAL.**

Preço do m2: **R\$ 1.600,00 (MIL E SEISCENTOS REAIS)**

Valor total: **R\$ 80.000,00 (OITENTA MIL REAIS)**

Forma de pagamento: **50% DE ENTRADA (R\$ 40.000,00) 25% (R\$ 20.000,00) NA ENTREGA DAS PLACAS E 25% (R\$ 20.000,00) NA CONCLUSÃO DA OBRA**

Descrição do Serviço: **VENDA E INSTALAÇÃO DE PLACAS MODULARES, FUNDAÇÃO RASA (RADIÉR), REBOCO NA PARTE EXTERNA E GESSO NA PARTE INTERNA, INSTALAÇÃO DE LAJE.**

Validade do orçamento: **10 (DEZ) DIAS**

Atenciosamente,

Belo Forte (12/09/22)

7.2 ORÇAMENTO JET CASA

02 Itens inclusos na proposta de responsabilidade da CONTRATADA

- 1- Adaptação do projeto para produção no sistema construtivo industrializado JET CASA;
- 2- Fornecimento dos painéis pré-fabricados de paredes, lajes e oitões, de acordo com projeto e demais especificações aprovadas entre as partes;
- 3- Fundação;
- 4- Montagem dos painéis em local/terreno fornecido pelo CONTRATANTE;

03 Serviços Preliminares de Responsabilidade do CONTRATANTE

- 5- Aprovação de todos os projetos junto a Prefeitura Municipal local (urbano) e órgãos competentes;
- 6- Alvarás de construção (urbano);
- 7- Guia de ART-Responsabilidade técnica da obra (urbano/rural) parcial;
- 8- Limpeza do terreno, compactação do solo;
- 9- Locação da obra;
- 10- Mapa de localização do terreno no loteamento;
- 11- Cobertura e acabamentos em geral (piso, azulejo, pintura, ligações acabamentos elétricos e hidráulicos, louças e metais);
- 12- Muro de arrimo, caso seja necessário;
- 13- Fornecimento de água e energia para a obra;
- 14- Placa de responsabilidade técnica da obra;
- 15- Recolhimento do INSS.
- 16- Caso a montagem seja fora de São José do Rio Preto, SP, despesas com alojamento, alimentação e deslocamento da equipe da CONTRATADA que irá executar a montagem no local;

Notas:

INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO		
Área Construída Total (M ²)	Nº da Proposta comercial	Nº da O.P.S
54,80 M2	Nº	Nº



Sistema Construtivo

Endereço Completo da Obra	
Rua/Fazenda/Sítio: Rua Marginal esquina com a Rua dos Eucaliptos	
Bairro/Local: Condomínio do Sol Nascente	
Quadra:	Lote/Nº: A01B
CEP:	
Cidade/Município: Cedral	Estado: SP
Ponto de Referência: Não informado	
Número da Matrícula do Registro: Não informado	
ESPECIFICAÇÃO DOS ITENS FORNECIDOS	
PAINÉIS DE PAREDES: SIM PÉ DIREITO: 2,72 M ESPESSURA: 11 CM	
PAINÉIS DE OITÕES: sim ESPESSURA: 10,00 cm	
PAINÉIS DE LAJES: SIM ESPESSURA: 8 CM	
Detalhes Gerais	
01-Caso as esquadrias sejam fornecidas pelo cliente, sua espessura deverá ser igual ou menor que 10 cm, para os painéis de 11 cm.	
Prazo de Entrega da Obra	
60 Dias úteis	

04 Forma de pagamento

VALOR:

VALOR TOTAL: R\$ 52.100,00 (cinquenta e dois mil e cem reais).

Entrada: R\$ 20.840,00 (vinte mil oitocentos e quarenta reais);

Liberação dos painéis para montagem: R\$ 20.840,00 (vinte mil oitocentos e quarenta reais);

30 dias após a montagem dos painéis: R\$ 10.420,00 (dez mil quatrocentos e vinte reais).

7.3 ORÇAMENTO HABITAR

QUANTITATIVOS DOS PRINCIPAIS INSUMOS DO PROJETO CENTRAL PA							
CATEGORIA	INSUMO	UNIDADE	CASA MODEL 01			CASA MODELO 0	
			CASA MODEL 01 52,1m2	TOTAL DE 2 CASAS	TOTAL DE 10 CASAS	PRECO	1 CASA
Montagem	Munk	unid	1,0			R\$ 3.000,00	R\$ 1.500,00
	Carreta	unid	2,0			R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
	Serralheiro	unid	1,0			R\$ 4.000,00	R\$ 181,82
	Ajudante	unid	5,0			R\$ 12.500,00	R\$ 568,18
	Coordenador	unid	1,0			R\$ 5.000,00	R\$ 1.000,00
	pedreiro	unid	1,0			R\$ 3.500,00	R\$ 159,09
						soma	R\$ 8.409,09
						TOTAL	R\$ 27.692,89
		Mês	Serviço Industr				
	Numero de casas mês	5,00	5,00	Preco c insumos	Lucro	Tradicional	01/07/2022
	Faturamento serviço industrializacão	265.000,00	R\$ 116.545,45	R\$ 53.000,00	R\$ 10.000	Material	R\$ 32.000,00
	Imposto Industrializacão	-15.900,00	-R\$ 6.992,73	6%		Mão de Obra	R\$ 21.000,00
	Faturamento Líquido	280.900,00	109.552,73				R\$ 53.000,00
	CPV	-138.464,47	-66.545,45				
	Material	-71.919,02				Formas 10cm	Pista