



APLICAÇÕES DO RADIER EM HABITAÇÃO SOCIAL: OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL E SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA

RADIER APPLICATIONS IN SOCIAL HOUSING: STRUCTURAL OPTIMIZATION AND ECONOMIC SUSTAINABILITY

APLICACIONES DE RADIER EN VIVIENDA SOCIAL: OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA



<https://doi.org/10.56238/levv14n32-015>

Data de submissão: 18/01/2024

Data de publicação: 18/02/2024

Rodrigo Pinho de Mello

RESUMO

Este artigo analisa a aplicação do radier como solução de fundação em empreendimentos de habitação social no Brasil, considerando seus aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Com base em uma abordagem qualitativa e revisão bibliográfica, a pesquisa examinou estudos recentes, relatórios técnicos, dissertações e normas nacionais que discutem a viabilidade do uso do radier em projetos de moradia popular. O radier, caracterizado como fundação rasa e contínua, apresenta vantagens significativas sobre fundações convencionais, como sapatas e blocos sobre estacas, ao eliminar etapas como escavações profundas, formas complexas e reaterros localizados. A fundação em laje única permite distribuir uniformemente os carregamentos estruturais, minimizando recalques diferenciais, fissuras e outros problemas que comprometem a durabilidade das edificações. Além disso, o sistema possibilita maior rapidez na execução, redução de perdas de materiais e racionalização dos processos construtivos. No campo econômico, destaca-se pela diminuição de custos diretos e indiretos, pela simplificação da logística de obra e pela facilidade de padronização em projetos de grande escala. Ambientalmente, a adoção do radier reduz o volume de resíduos sólidos, o consumo de madeira e aço, e permite o uso de concretos com adições minerais, promovendo menor impacto ecológico. Também foram observados benefícios sociais, como a viabilidade de capacitação de mão de obra local e a adequação do sistema a realidades regionais diversas. Os resultados demonstram que o radier atende simultaneamente aos critérios de desempenho estrutural, sustentabilidade e economia, sendo uma alternativa eficiente e replicável para ampliar o acesso à moradia digna no país. Por fim, recomenda-se sua adoção sistemática em políticas públicas de habitação, especialmente em contextos de urbanização acelerada, com foco na eficiência técnica e no retorno social do investimento.

Palavras-chave: Habitação social. Fundação rasa. Radier. Sustentabilidade. Construção civil.

ABSTRACT

This article analyzes the application of raft foundation (radier) as a structural solution in social housing projects in Brazil, considering its technical, economic, and environmental aspects. Based on a qualitative approach and bibliographic review, the study examined recent research, technical reports, academic dissertations, and national standards that address the feasibility of using raft foundations in low-income housing developments. The radier, classified as a shallow and continuous foundation, presents significant advantages over conventional systems, such as isolated footings and pile caps, by eliminating steps like deep excavations, complex formwork, and localized backfilling. The monolithic

slab allows for uniform load distribution, reducing differential settlements, cracks, and other pathologies that compromise the durability of buildings. Additionally, the system enables faster execution, reduced material waste, and streamlined construction processes. From an economic perspective, it lowers both direct and indirect costs, simplifies construction logistics, and facilitates project standardization at scale. Environmentally, adopting radier reduces the volume of solid waste, the use of wood and steel, and allows for the incorporation of mineral additions in concrete, promoting lower ecological impact. Social benefits were also observed, such as enabling the training of local labor and adapting to diverse regional conditions. The findings demonstrate that radier meets structural performance, sustainability, and economic efficiency criteria, standing out as a replicable and efficient alternative to expand access to adequate housing in Brazil. Finally, the study recommends the systematic adoption of radier in public housing policies, particularly in contexts of rapid urban growth, with a focus on technical efficiency and social return on investment.

Keywords: Social housing. Shallow foundation. Raft. Sustainability. Construction industry.

RESUMEN

Este artículo analiza la aplicación de losas como solución de cimentación en proyectos de vivienda social en Brasil, considerando sus aspectos técnicos, económicos y ambientales. Con base en un enfoque cualitativo y una revisión bibliográfica, la investigación examinó estudios recientes, informes técnicos, tesis y normas nacionales que abordan la viabilidad del uso de losas en proyectos de vivienda social. La losa, caracterizada por ser una cimentación superficial y continua, presenta ventajas significativas sobre las cimentaciones convencionales, como zapatas y encepados, al eliminar pasos como excavaciones profundas, formas complejas y rellenos localizados. La cimentación de losa única permite una distribución uniforme de las cargas estructurales, minimizando asentamientos diferenciales, grietas y otros problemas que comprometen la durabilidad de las edificaciones. Además, el sistema permite una ejecución más rápida, reduce las pérdidas de material y racionaliza los procesos de construcción. En el ámbito económico, destaca por la reducción de costos directos e indirectos, la simplificación de la logística de la construcción y la facilidad de estandarización en proyectos de gran envergadura. En términos ambientales, la adopción de la construcción con losas reduce el volumen de residuos sólidos, el consumo de madera y acero, y permite el uso de hormigón con adiciones minerales, lo que promueve un menor impacto ecológico. También se observaron beneficios sociales, como la viabilidad de capacitar mano de obra local y la adaptación del sistema a diversas realidades regionales. Los resultados demuestran que la construcción con losas cumple simultáneamente con los criterios de desempeño estructural, sostenibilidad y economía, siendo una alternativa eficiente y replicable para ampliar el acceso a una vivienda digna en el país. Finalmente, se recomienda su adopción sistemática en las políticas públicas de vivienda, especialmente en contextos de urbanización acelerada, con un enfoque en la eficiencia técnica y la rentabilidad social de la inversión.

Palabras clave: Vivienda social. Cimentación superficial. Construcción con losas. Sostenibilidad. Construcción civil.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de ampliação do acesso à moradia digna no Brasil, principalmente por meio de programas públicos de habitação social, tem impulsionado a adoção de sistemas construtivos mais eficientes, econômicos e sustentáveis, sendo o radier uma dessas alternativas ao substituir fundações tradicionais por uma laje contínua de concreto armado que distribui uniformemente as cargas da edificação sobre o solo, promovendo maior estabilidade e reduzindo patologias decorrentes de recalques diferenciais, o que se mostra especialmente relevante para empreendimentos de grande escala e orçamentos limitados como os viabilizados por políticas habitacionais de interesse social (Lelis; Migliore Junior, 2020).

De acordo com a NBR 6122, o radier é classificado como fundação rasa e seu dimensionamento exige uma abordagem integrada entre os esforços estruturais e as propriedades do solo, pois sua função não se limita ao apoio passivo da construção, mas também atua na contenção de deformações e na homogeneização dos assentamentos, e quando corretamente projetado e executado, esse tipo de fundação apresenta desempenho comparável a sistemas mais complexos e onerosos, como as estacas ou sapatas em terrenos com baixa capacidade de suporte (Dória, 2007).

A principal vantagem técnica do radier em habitações populares é a capacidade de absorver e redistribuir tensões em terrenos com baixa resistência, evitando recalques localizados e garantindo maior integridade estrutural, além de reduzir significativamente o surgimento de trincas nas alvenarias, diminuindo os custos com reparos e manutenção corretiva, conforme evidenciado em análises comparativas entre sistemas fundacionais aplicados em casas térreas de projetos padronizados (Guedes; Burgos, 2014).

No aspecto econômico, o radier apresenta uma solução eficiente ao eliminar a necessidade de escavações profundas, formas em madeira, blocos de coroamento e armaduras complexas, resultando em um processo construtivo mais direto e menos suscetível a erros de execução, contribuindo ainda para uma maior produtividade da equipe e menor tempo de obra, fator que impacta diretamente no custo final por unidade habitacional construída (Rodrigues; Almeida, 2018).

A integração entre fundação e piso acabado também elimina etapas posteriores de contrapiso, argamassa de regularização e até mesmo impermeabilização complementar, tornando o radier uma solução multifuncional que contribui para a racionalização do processo produtivo no canteiro de obras, o que se torna especialmente vantajoso em projetos onde o tempo de execução e a padronização das unidades influenciam diretamente na viabilidade contratual (Oliveira; Silva Júnior, 2021).

Um destaque relevante é a compatibilidade do radier com técnicas de industrialização, como a utilização de concreto usinado, adições minerais e, em alguns casos, o emprego de fibras metálicas ou sintéticas que reduzem a necessidade de armaduras convencionais, o que além de reduzir custos e

prazos, contribui para a sustentabilidade da construção ao diminuir o consumo de materiais e as emissões de CO₂ associadas ao cimento Portland tradicional (Covalesky, 2016).

A sustentabilidade do sistema também está relacionada à menor movimentação de solo no canteiro, o que reduz o impacto ambiental da obra, diminui o transporte de entulho e evita a obstrução de redes de drenagem urbana, especialmente em áreas periféricas ou em regiões com infraestrutura urbana limitada, conforme já demonstrado em relatórios técnicos que avaliaram o desempenho de empreendimentos habitacionais apoiados em radier em diferentes regiões do país (DeganI *et al.*, 2021).

Em relação ao desempenho a longo prazo, o radier proporciona maior durabilidade à estrutura, uma vez que sua continuidade reduz a formação de pontos frágeis ou de concentração de tensões que são comumente associados às interfaces entre blocos e vigas de fundações tradicionais, o que, na prática, resulta em edificações com menor incidência de manifestações patológicas estruturais e maior longevidade (Ribeiro *et al.*, 2020).

Considerando os múltiplos benefícios do radier, desde a sua eficiência técnica até os impactos sociais e ambientais positivos, torna-se evidente a importância de aprofundar a discussão sobre a sua aplicação sistemática em projetos de habitação social, analisando suas limitações, possibilidades de aperfeiçoamento e as condições em que seu uso se mostra mais vantajoso do ponto de vista técnico-financeiro (Rodrigues; Almeida, 2018)

Dessa forma, este artigo tem como objetivo explorar o uso do radier como solução estrutural em empreendimentos de habitação social, investigando suas aplicações práticas, seu desempenho geotécnico, sua viabilidade econômica e sua contribuição para a sustentabilidade urbana, com base em estudos de caso, normas técnicas e literatura científica especializada, a fim de propor diretrizes que favoreçam sua adoção consciente e eficiente no setor público e privado (Lelis; Migliore Junior, 2020)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O RADIER COMO SOLUÇÃO TÉCNICA NA ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES

A fundação tipo radier representa uma das soluções mais consistentes e versáteis na engenharia de fundações rasas, sendo amplamente utilizada em edificações de pequeno porte, como residências unifamiliares e habitações sociais, principalmente em contextos onde o solo apresenta baixa resistência e os esforços são distribuídos de maneira regular, e sua adoção vem crescendo no Brasil à medida que se comprova sua eficiência técnica, seu impacto positivo nos custos da obra e sua capacidade de adaptação aos modelos construtivos padronizados adotados em programas de grande escala (Lelis; Migliore Junior, 2020).

Historicamente, o radier passou a ser estudado como solução viável a partir da necessidade de superar as limitações de fundações isoladas em terrenos com características geotécnicas heterogêneas, e sua evolução acompanhou o desenvolvimento dos métodos de cálculo que consideram a interação

solo-estrutura, permitindo uma compreensão mais precisa do comportamento da fundação como elemento ativo de redistribuição de cargas e não só como apoio passivo da edificação, o que possibilitou maior segurança no dimensionamento e maior confiabilidade em sua aplicação prática (Dória, 2007).

A classificação normativa brasileira, através da NBR 6122, estabelece que o radier é uma fundação rasa, contínua, que ocupa toda a área da construção e que atua de forma integrada com os demais elementos estruturais, sendo dimensionado para suportar esforços verticais e horizontais, além de acomodar recalques de maneira uniforme, e essa definição permite diferenciá-lo das fundações profundas, como estacas, e das fundações isoladas, como sapatas e blocos sobre estacas, reforçando sua natureza de solução estrutural integral (Abnt, 2019).

Entre as principais distinções entre fundações rasas e profundas está o modo de transferência de cargas ao solo, sendo que o radier atua diretamente na superfície ou em camadas pouco profundas do terreno, o que reduz custos com escavação, transporte de solo e uso de equipamentos pesados, além de eliminar a necessidade de blocos de ancoragem, vigas baldrame ou cintas de amarração, promovendo uma economia significativa de materiais e simplificando o processo executivo no canteiro de obras (Rodrigues; Almeida, 2018).

Para o correto dimensionamento do radier, é fundamental a adoção de modelos matemáticos que levem em conta a rigidez da laje, a deformabilidade do solo e a distribuição dos carregamentos, sendo os métodos mais utilizados atualmente o de Winkler, baseado em molas lineares, e a analogia de grelha, que permite modelar o comportamento da fundação com precisão aceitável por meio de discretizações em barras e nós, técnicas que vêm sendo amplamente utilizadas por projetistas em softwares de cálculo estrutural (Guedes; Burgos, 2014).

A escolha do modelo depende da complexidade da obra, da disponibilidade de dados geotécnicos e da uniformidade dos esforços aplicados, sendo que para edificações padronizadas de habitação social o uso da analogia de grelha tem se mostrado eficaz, permitindo simulações rápidas, seguras e com boa representatividade da distribuição de tensões, além de oferecer uma base confiável para o dimensionamento da armadura, verificação de flechas e controle de punção em regiões críticas da laje (Dória, 2007).

O comportamento estrutural do radier é diretamente influenciado pelas características do solo, que atua como elemento elástico de apoio, e a rigidez da fundação deve ser compatível com as deformações esperadas para evitar concentrações de tensões, e, nesse sentido, os estudos demonstram que solos com baixa capacidade de suporte demandam lajes mais espessas ou reforçadas, enquanto em terrenos mais rígidos é possível adotar seções mais delgadas, desde que observadas as tensões admissíveis e os limites normativos de recalque (Lelis; Migliore Junior, 2020).

A interação entre solo e estrutura no caso do radier é de extrema importância para a segurança e durabilidade da edificação, pois qualquer falha de dimensionamento ou de execução pode provocar fissuras, perda de nivelamento ou até mesmo o comprometimento da estabilidade da obra, e por isso a investigação geotécnica precisa ser criteriosa, abrangendo ensaios de sondagem, classificação dos solos e determinação dos parâmetros de deformabilidade e resistência, o que deve subsidiar tanto o projeto estrutural quanto o plano executivo (Guedes; Burgos, 2014).

A distribuição de tensões sob a laje deve ser uniforme sempre que possível, o que evita recalques diferenciais e garante que as alvenarias e vedações permaneçam estáveis ao longo do tempo, e quando existem cargas concentradas, como em pilares centrais ou paredes portantes, é necessário prever reforços localizados com armaduras adicionais ou espessamentos parciais, garantindo que os esforços estejam dentro dos limites de punção e que a laje trabalhe de forma segura e durável (Dória, 2007).

A verificação de punção é um dos pontos mais críticos no projeto de radier, pois a laje, ao atuar como base única para todos os elementos verticais da estrutura, precisa resistir às concentrações de esforço em regiões pontuais, e, nesse sentido, recomenda-se a utilização de armaduras cruzadas, telas metálicas ou chapéus estruturais em pontos específicos, de modo a garantir que a ruptura localizada por cisalhamento seja evitada, mantendo-se a integridade do sistema mesmo sob cargas elevadas (Rodrigues; Almeida, 2018).

As armaduras do radier podem ser distribuídas em duas ou mais camadas, dependendo da espessura da laje e da magnitude dos esforços, e a adoção de concreto com aditivos plastificantes, fibras metálicas ou sílica ativa tem contribuído para melhorar a trabalhabilidade, a resistência à fissuração e a durabilidade da fundação, especialmente em ambientes agressivos ou com presença de umidade elevada, o que reforça a importância da especificação criteriosa dos materiais e da qualidade na execução (Oliveira; Silva Júnior, 2021).

Quando comparado a sistemas de fundações como sapatas isoladas ou blocos sobre estacas, o radier apresenta vantagens significativas em termos de integração estrutural, facilidade de execução e redução de interfaces críticas entre elementos, e por isso sua aplicação tem sido cada vez mais recomendada em projetos de habitação social, por seu desempenho estrutural, e pela viabilidade econômica e pela conformidade com princípios de sustentabilidade e racionalização construtiva (Lelis; Migliore Junior, 2020).

A execução do radier exige atenção a detalhes como o preparo do terreno, a compactação adequada da base, a impermeabilização da laje e o controle rigoroso da cura do concreto, e essas etapas, embora simples, são essenciais para garantir o desempenho esperado da fundação, pois qualquer descontinuidade, desnível ou falha na compactação pode comprometer o comportamento do sistema como um todo, afetando diretamente a segurança e a durabilidade da edificação (Covalesky, 2016).

A durabilidade do radier, quando corretamente dimensionado e executado, pode superar as expectativas previstas para fundações convencionais, principalmente pelo fato de sua continuidade estrutural evitar pontos de tensão concentrada e reduzir significativamente o aparecimento de fissuras e recalques, o que se traduz em menor custo de manutenção, maior conforto dos usuários e maior longevidade das edificações, fatores que são especialmente valorizados em empreendimentos públicos de larga escala (Ribeiro *et al.*, 2020).

Diante disso, compreender o funcionamento técnico do radier e suas múltiplas vantagens sobre os sistemas tradicionais de fundações é fundamental para profissionais da engenharia e gestores públicos que atuam com projetos de habitação social, pois sua correta especificação e dimensionamento representam além de um ganho em eficiência estrutural, mas também uma importante contribuição para o desenvolvimento urbano sustentável, a redução do déficit habitacional e o fortalecimento da qualidade construtiva nas políticas públicas habitacionais do Brasil (Degani *et al.*, 2021).

2.2 VANTAGENS ECONÔMICAS DO RADIER NA CONSTRUÇÃO CIVIL POPULAR

A utilização do radier como sistema de fundação em obras de habitação popular tem se destacado pelo desempenho técnico-estrutural, por suas vantagens econômicas, especialmente em contextos de produção em larga escala e orçamentos públicos restritivos, sendo sua simplicidade executiva e seu baixo custo de manutenção fatores determinantes para a racionalização de recursos em programas habitacionais como o Minha Casa Minha Vida e outras políticas de incentivo à moradia digna (Rodrigues; Almeida, 2018).

Ao substituir múltiplas sapatas isoladas e blocos por uma única laje de fundação, o radier elimina etapas construtivas como escavações profundas, formas específicas, reaterros diferenciados e vigas baldrame, o que reduz diretamente o consumo de materiais como madeira, aço e concreto, além de diminuir a necessidade de mão de obra especializada para atividades que exigem maior tempo e precisão, refletindo em economia de escala significativa em projetos padronizados (Lelis; Migliore Junior, 2020).

O custo com escavação e transporte de terra representa parcela importante do orçamento de fundações em regiões urbanas, e como o radier demanda apenas uma escavação rasa e contínua, essa etapa se torna mais rápida e barata, reduzindo o número de viagens de caminhões, a geração de entulho e o impacto logístico no entorno da obra, o que é particularmente relevante em áreas de difícil acesso ou em comunidades adensadas (Lima *et al.*, 2022).

Uma outra economia relevante está associada à aquisição de concreto em grande volume, já que o radier exige uma concretagem extensa e contínua que pode ser otimizada por meio de contratos de fornecimento direto com usinas, permitindo descontos progressivos por escala e maior controle da

qualidade do material entregue, além de reduzir perdas por transporte e estocagem de agregados no canteiro (Oliveira; Silva Júnior, 2021).

O tempo de execução do radier também é menor do que o de fundações convencionais, visto que a concretagem é realizada em única etapa, seguida de um período de cura já integrado ao cronograma da estrutura, o que libera rapidamente o início da alvenaria e dos demais serviços, encurtando o ciclo produtivo da unidade habitacional, diminuindo os custos indiretos da obra e facilitando o planejamento das frentes de trabalho (Rodrigues; Almeida, 2018).

Em obras públicas, essa redução de prazo tem impacto direto sobre o cronograma financeiro, uma vez que a liberação de parcelas vinculadas ao andamento físico da construção depende do cumprimento de etapas certificadas por engenheiros fiscais, e a agilidade na fundação permite antecipar medições, gerar receita mais rapidamente para a construtora e diminuir o tempo entre o início e a entrega do empreendimento (Lelis; Migliore Junior, 2020).

Quando se consideram os custos totais de uma habitação ao longo de seu ciclo de vida, o radier também se destaca por reduzir a necessidade de intervenções corretivas, já que as manifestações patológicas como fissuras, recalques ou desnivelamentos ocorrem com menor frequência, e isso se traduz em economia para os entes públicos responsáveis pela manutenção pós-ocupação ou pelos reparos decorrentes de vícios construtivos (Ribeiro *et al.*, 2020).

A redução de retrabalhos também minimiza os custos ocultos da obra, como a remobilização de equipes, a interrupção do cronograma e os gastos com materiais adicionais para correções, o que favorece a previsibilidade financeira da construção e reduz o risco de inadimplência contratual, aspecto crítico em contratos financiados por bancos públicos ou por programas de subsídio habitacional (Covalesky, 2016).

O desempenho térmico e acústico do radier, quando corretamente isolado e executado, contribui ainda para o conforto dos moradores e reduz o consumo de energia com ventilação ou climatização, promovendo um ganho indireto de eficiência energética que pode ser valorizado em certificações de sustentabilidade, agregando valor ao imóvel sem onerar significativamente o custo da fundação (Degani *et al.*, 2021).

A padronização geométrica do radier também facilita o desenvolvimento de projetos repetitivos, o que permite a criação de kits estruturais e armaduras pré-montadas, além de reduzir a dependência de decisões *in loco* por parte da equipe de execução, o que não só melhora o ritmo da obra como evita variações de custo inesperadas, contribuindo para a padronização do orçamento e para a replicabilidade em novos empreendimentos (Dória, 2007).

Em termos de logística de canteiro, o radier também permite racionalizar o uso de equipamentos, evitando o deslocamento de escavadeiras de grande porte, guias ou betoneiras móveis entre vários pontos da obra, já que a fundação é executada em uma única superfície contínua, o que

reduz o custo operacional por metro quadrado e facilita o controle de produtividade por parte do engenheiro responsável (Lima *et al.*, 2022).

A compatibilidade do radier com a industrialização da construção civil, especialmente quando associado a sistemas construtivos como alvenaria estrutural, pré-moldados leves ou painéis de concreto, permite que a fundação seja integrada aos processos de pré-fabricação, o que reduz desperdícios, aumenta o controle de qualidade e diminui significativamente os custos com retrabalho, perdas de materiais e improdutividade (Lelis; Migliore Junior, 2020).

Embora o volume de concreto utilizado seja maior em relação a sapatas isoladas, esse acréscimo é compensado pela eliminação de outros elementos estruturais e pela simplificação do processo executivo, sendo possível, inclusive, empregar concretos com adições minerais e menor fator água/cimento, o que reduz custos ambientais e financeiros sem comprometer o desempenho estrutural da fundação (Covalesky, 2016).

A manutenção do imóvel ao longo do tempo, muitas vezes negligenciada nos orçamentos iniciais, representa parcela significativa dos custos públicos com habitação, e o radier contribui diretamente para reduzir essa despesa, pois evita deslocamentos diferenciais da estrutura, protege contra infiltrações e permite maior estabilidade dimensional da edificação, o que se traduz em menores gastos futuros para o Estado e para os moradores (Ribeiro *et al.*, 2020).

Portanto, as vantagens econômicas do radier vão além do orçamento imediato da fundação e se estendem por todo o ciclo de vida da edificação, promovendo racionalização de custos, maior controle financeiro, redução de riscos operacionais e melhora na durabilidade da obra, aspectos que tornam essa solução particularmente adequada à construção civil popular e à implementação de políticas públicas habitacionais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis (Degani *et al.*, 2021).

2.3 SUSTENTABILIDADE E DESEMPENHO AMBIENTAL DO RADIER

A crescente exigência por práticas construtivas sustentáveis tem levado profissionais da engenharia a reavaliar não apenas os métodos estruturais, mas também os impactos ambientais de cada etapa do processo, e nesse contexto o radier se destaca como uma alternativa que, além de eficiente em termos técnicos e econômicos, oferece vantagens concretas em relação à sustentabilidade ambiental, especialmente quando aplicado em programas de habitação social que buscam alinhar eficiência construtiva a critérios ecológicos (Degani *et al.*, 2021).

A primeira contribuição do radier à sustentabilidade ocorre na fase de terraplenagem, já que sua execução demanda escavação rasa e contínua, com remoção mínima de solo, o que reduz a alteração da topografia natural do terreno, evita o transporte de grandes volumes de terra e diminui a emissão de poluentes associados ao deslocamento de caminhões, além de mitigar o risco de

instabilidade em áreas com lençol freático elevado ou solos de baixa coesão (Rodrigues; Almeida, 2018).

Cabe destacar a diminuição no consumo de materiais auxiliares como madeira para formas e escoramentos, comuns nas fundações convencionais, visto que o radier dispensa esses elementos em grande parte das situações, contribuindo para a redução do desmatamento e da geração de resíduos sólidos, e favorecendo uma obra mais limpa, organizada e de menor impacto sobre o meio ambiente urbano e natural (Lelis; Migliore Junior, 2020).

A produção de concreto representa um dos maiores emissores de dióxido de carbono na construção civil, e embora o radier utilize volume considerável desse material, é possível mitigar esse impacto com a substituição parcial do cimento por adições minerais como escória de alto-forno, pozolanas e filer calcário, que reduzem a emissão de CO₂, e melhoram a durabilidade do concreto ao aumentar a compacidade da matriz e a resistência a agentes agressivos (Covalesky, 2016).

O uso de concreto com aditivos de desempenho ou fibras metálicas também reduz a necessidade de armaduras superiores, diminuindo o consumo de aço, um insumo com alto custo energético e elevado impacto ambiental em sua produção, e, com isso, o radier se torna uma solução além de eficiente em termos estruturais, mas também compatível com políticas de construção de baixo carbono e com os compromissos de redução de emissões climáticas assumidos pelo Brasil (Oliveira; Silva Júnior, 2021).

A execução mais rápida do radier implica em menor tempo de obra, o que significa menos consumo de energia elétrica, menor emissão de gases de combustão por máquinas e veículos e menor tempo de ocupação do canteiro, reduzindo ainda a poluição sonora e o transtorno para a vizinhança, especialmente em áreas urbanas densas ou em reassentamentos de comunidades vulneráveis, onde o impacto social da obra também precisa ser considerado como fator ambiental indireto (Lima *et al.*, 2022).

A racionalização da mão de obra e a menor complexidade executiva do radier favorecem ainda a capacitação de trabalhadores locais, promovendo geração de renda e inclusão produtiva em regiões periféricas, o que integra a sustentabilidade social ao processo construtivo, pois fortalece as cadeias produtivas locais e reduz a necessidade de importação de serviços especializados, ampliando o acesso à tecnologia mesmo em municípios de pequeno porte (Rodrigues; Almeida, 2018).

O conforto térmico das moradias também é impactado positivamente quando o radier é utilizado em conjunto com soluções de isolamento, pois a continuidade da fundação evita pontes térmicas e facilita a aplicação de mantas ou camadas isolantes, o que reduz a necessidade de climatização artificial e, portanto, o consumo de energia ao longo da vida útil da edificação, contribuindo para um padrão de vida mais sustentável para os moradores (Degani *et al.*, 2021).

A compatibilidade do radier com projetos de certificação ambiental como o Procel Edificações ou o Selo Azul da Caixa Econômica é outro ponto que favorece sua adoção em habitações sociais, pois possibilita que as construções atendam aos requisitos de eficiência energética e gestão de resíduos com menor investimento adicional, viabilizando a captação de financiamentos com taxas reduzidas e bonificações por desempenho ambiental (Covalesky, 2016).

A manutenção do radier ao longo do tempo também é reduzida em comparação a outros sistemas de fundação, uma vez que a incidência de patologias como recalques diferenciais, fissuras e infiltrações é muito menor, o que prolonga a vida útil da estrutura, evita reformas frequentes e diminui o consumo de novos materiais e o descarte de resíduos de demolição ou reabilitação, integrando a durabilidade como pilar da sustentabilidade (Ribeiro *et al.*, 2020).

A estrutura contínua do radier permite ainda o reuso parcial da fundação em casos de ampliação, reforma ou reconstrução da edificação, o que representa um diferencial em termos de reaproveitamento estrutural, visto que outras fundações geralmente precisam ser demolidas ou adaptadas de forma dispendiosa, e essa flexibilidade estrutural também colabora para o conceito de economia circular dentro do setor da construção civil (Dória, 2007).

A gestão de resíduos no canteiro é facilitada pela simplicidade do radier, já que a eliminação de formas, escoramentos e reaterros reduz o volume de entulho, melhora a logística interna e diminui os riscos de acidentes, contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro e para a conformidade com as normas de segurança e meio ambiente, o que também impacta positivamente a imagem institucional de construtoras envolvidas em programas públicos (Lelis; Migliore Junior, 2020).

Em termos de desempenho ambiental coletivo, a disseminação do radier em grandes conjuntos habitacionais pode representar uma mudança significativa no padrão de consumo de recursos naturais pela construção civil brasileira, pois cada moradia executada com esse sistema economiza materiais, reduz emissões e amplia a eficiência energética, sendo, portanto, um instrumento viável para políticas públicas que combinem habitação, justiça social e responsabilidade ecológica (Degani *et al.*, 2021).

A introdução de critérios ambientais nas licitações públicas e nos editais de financiamento federal tende a consolidar o uso do radier como padrão técnico de sustentabilidade, principalmente porque se trata de uma solução simples, replicável e de fácil fiscalização, o que garante sua viabilidade técnica mesmo em municípios com equipes de engenharia reduzidas ou com menor grau de desenvolvimento institucional (Rodrigues; Almeida, 2018).

Dessa forma, o radier consolida-se como uma solução que vai além da estrutura e contribui efetivamente para os pilares ambiental, social e econômico da sustentabilidade, sendo aplicável em larga escala, com potencial de transformar o modo como se constrói habitação social no Brasil, reduzindo impactos ambientais, melhorando as condições de vida dos moradores e promovendo maior eficiência no uso dos recursos públicos investidos na construção civil (Covalesky, 2016).

3 METODOLOGIA

Este artigo adota como abordagem metodológica a pesquisa qualitativa, uma vez que busca compreender a complexidade das aplicações do radier em habitações sociais a partir de uma análise interpretativa de estudos técnicos, relatórios acadêmicos e experiências consolidadas na engenharia de fundações, sem a pretensão de quantificar dados, mas sim de aprofundar o entendimento sobre as vantagens estruturais, econômicas e ambientais dessa técnica construtiva aplicável em larga escala no contexto brasileiro (Gil, 2008)

A escolha pela abordagem qualitativa justifica-se pela natureza do tema, que envolve múltiplas variáveis interdependentes e exige um olhar crítico sobre o processo construtivo, as decisões de projeto e os impactos decorrentes da escolha da fundação tipo radier,

O procedimento metodológico adotado é o de revisão bibliográfica, com base em fontes secundárias extraídas de artigos científicos, dissertações, relatórios técnicos, normas da ABNT, guias de boas práticas e publicações especializadas, buscando reunir evidências atualizadas e diversificadas sobre a aplicação do radier em diferentes regiões do Brasil, especialmente em projetos de habitação popular promovidos por programas públicos de urbanização e inclusão social (Gil, 2008)

Dentro de cada categoria temática, os autores foram analisados em relação às suas contribuições específicas, confrontando os resultados encontrados com as diretrizes estabelecidas pelas normas técnicas brasileiras e com a prática construtiva observada em estudos de caso documentados, garantindo uma análise crítica que vá além da simples exposição descritiva dos conteúdos, respeitando os critérios de validade científica da pesquisa bibliográfica (Lakatos; Marconi, 2017)

A delimitação do objeto de estudo levou em conta as especificidades do radier aplicado a obras de interesse social, excluindo obras industriais, fundações protendidas para edifícios de múltiplos pavimentos ou radiers mistos com estacas profundas, de modo que o recorte ficasse concentrado nas soluções adotadas em conjuntos habitacionais térreos ou de até dois pavimentos, construídos em larga escala com recursos públicos ou subsídios estatais (Rodrigues; Almeida, 2018)

Não foram utilizados instrumentos de pesquisa de campo nem realizadas entrevistas com especialistas, dado que o foco do trabalho é consolidar e interpretar os conhecimentos já produzidos sobre o tema, oferecendo uma contribuição reflexiva e técnica que possa subsidiar decisões de projeto, políticas públicas e estratégias de planejamento urbano voltadas à racionalização das fundações em moradias de interesse social (Lakatos; Marconi, 2017)

Dessa forma, a metodologia adotada garante a coerência entre os objetivos propostos, a estrutura do trabalho e os resultados apresentados, permitindo que a discussão teórica esteja fundamentada em dados concretos e devidamente referenciados, com base em fontes confiáveis e atualizadas, o que confere validade científica ao estudo e reforça sua utilidade para profissionais da

engenharia, gestores públicos, pesquisadores e instituições envolvidas na melhoria da qualidade da habitação no Brasil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O radier apresenta vantagens evidentes quando aplicado a obras de habitação social, principalmente por reduzir custos diretos e indiretos ao simplificar a execução da fundação e por melhorar o desempenho da estrutura ao longo do tempo, sendo essa conclusão reiterada em diversos estudos que compararam radiers a sapatas e blocos sobre estacas em obras de pequeno porte com recursos públicos (Rodrigues; Almeida, 2018).

Os autores Lelis e Migliore Junior (2020) destacaram que o radier proporciona um canteiro mais limpo, com menor movimentação de solo e menos geração de resíduos, o que reduz o impacto ambiental da obra e facilita a organização das frentes de trabalho, além de evitar a sobreposição de etapas executivas como escavação localizada, formas individuais e reaterros diferenciados, tornando o processo mais contínuo e eficiente.

No estudo conduzido por Lima *et al.* (2022) observou-se que o uso do radier em obras de habitação popular no Tocantins proporcionou redução média de 12% no custo total da fundação, mesmo com maior consumo de concreto, devido à eliminação de escavações profundas, armaduras adicionais e mão de obra especializada para formas e vigas baldrame, demonstrando a viabilidade econômica da técnica mesmo em contextos de solo fraco (Lima *et al.*, 2022).

Ao comparar o comportamento estrutural das fundações, Guedes e Burgos (2014) constataram que o radier apresentou desempenho superior quanto à homogeneidade dos recalques e à estabilidade dimensional da estrutura, com menor incidência de fissuras nas alvenarias, sendo esse um fator determinante para a durabilidade das edificações e para a economia em manutenções corretivas ao longo dos anos.

Dória (2007) por sua vez, apontou que o radier, quando corretamente dimensionado por meio da analogia de grelha e com base em parâmetros reais de rigidez do solo, atende plenamente às exigências da NBR 6118 e da NBR 6122 quanto aos limites de punção, flechas e segurança ao cisalhamento, permitindo que a fundação atue como laje estrutural e elemento estabilizador ao mesmo tempo, otimizando o desempenho global da edificação.

A pesquisa de Covalesky (2016) analisou o ciclo de vida da construção e indicou que o radier, embora tenha maior consumo inicial de concreto, reduz impactos ambientais por diminuir o uso de madeira e aço, gerar menos entulho e possibilitar o uso de adições minerais no traço do concreto, o que melhora a durabilidade e reduz as emissões associadas à produção de cimento, contribuindo para a sustentabilidade da habitação.

No aspecto da durabilidade, Ribeiro *et al.* (2020) destacaram que as edificações construídas sobre radiers apresentaram menor índice de manifestações patológicas nos cinco primeiros anos de uso, incluindo trincas, infiltrações e recalques localizados, o que reflete diretamente na qualidade percebida pelo usuário final e na imagem institucional das construtoras envolvidas em programas habitacionais públicos.

Em termos de tempo de obra, Oliveira e Silva Júnior (2021) mostraram que a execução do radier foi, em média, 20% mais rápida do que a fundação convencional com sapatas e vigas baldrame, considerando desde a escavação até a cura do concreto, sendo essa agilidade um diferencial competitivo importante para empresas que operam em cronogramas apertados e com repasses condicionados ao avanço físico das obras.

A padronização das dimensões e o uso repetitivo do sistema em conjuntos habitacionais favorecem ainda o desenvolvimento de kits de armadura, a negociação por volume com concreteiras e a adoção de soluções industrializadas, como telas soldadas e fibras estruturais, que simplificam a logística do canteiro e reduzem perdas por falha de execução, otimizando o custo por metro quadrado (Lelis; Migliore Junior, 2020).

Outro ponto observado é que o radier permite maior flexibilidade de projeto, pois sua laje contínua se adapta a diferentes formatos de planta e possibilita futuras ampliações com menor impacto sobre a fundação existente, característica valorizada em programas de habitação progressiva, nos quais a família poderá ampliar o imóvel ao longo do tempo sem necessidade de reforçar ou substituir a fundação (Rodrigues; Almeida, 2018).

Na comparação entre métodos de cálculo, os estudos indicam que a analogia de grelha é a mais indicada para dimensionar radiers em habitações de pequeno porte, por permitir análise rápida e segura dos esforços, verificação de punção e cálculo preciso das armaduras, além de ser compatível com os softwares utilizados em escritórios de projeto e compatibilização estrutural (Dória, 2007).

Os critérios de sustentabilidade também reforçam a viabilidade do radier, já que sua menor demanda por madeira, sua execução mais limpa e a possibilidade de usar materiais reciclados no concreto o tornam compatível com certificações ambientais e programas de crédito verde, o que pode reduzir os custos financeiros do empreendimento e ampliar o acesso a linhas de financiamento público com exigência de responsabilidade ambiental (Degani *et al.*, 2021).

A gestão de resíduos no canteiro torna-se mais eficiente com o radier, como demonstrado por Covalesky (2016) ao relatar a redução de mais de 30% no volume de entulho gerado em comparação com sapatas e vigas baldrame, o que representa um benefício ambiental, etambém uma economia significativa com transporte, destinação e limpeza pós-obra.

O impacto social do sistema também foi mencionado por Lima *et al.* (2022) ao destacar que a adoção do radier facilitou a capacitação de mão de obra local, reduziu a complexidade técnica e

permitiu o envolvimento de profissionais da região na execução das fundações, promovendo inclusão produtiva, redução de custos com deslocamentos e fortalecimento da cadeia de fornecedores locais.

Sendo assim, a análise dos estudos demonstra que o radier reúne atributos técnicos, econômicos e ambientais que o qualificam como uma solução estruturante para a construção civil popular no Brasil, especialmente em contextos de habitação social, onde o equilíbrio entre qualidade, custo e eficiência é fundamental para garantir o direito à moradia e a sustentabilidade do investimento público.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se durante este artigo que o radier constitui uma solução técnica altamente viável para a construção de habitações sociais, atendendo simultaneamente às exigências de desempenho estrutural, racionalização de recursos e sustentabilidade, sendo particularmente eficaz em contextos de produção padronizada em larga escala, onde a simplificação dos processos executivos representa um diferencial decisivo para o cumprimento de cronogramas e orçamentos restritos

Ao comparar o radier com os sistemas tradicionais de fundação, verificou-se que sua aplicação proporciona vantagens operacionais evidentes, como a redução da escavação, eliminação de formas, integração entre fundação e piso acabado e menor número de etapas críticas, o que facilita a logística do canteiro, reduz a necessidade de mão de obra especializada e melhora o controle da qualidade das execuções, fatores fundamentais em empreendimentos habitacionais financiados com recursos públicos

No plano estrutural, observou-se que o radier apresenta desempenho satisfatório mesmo em solos de baixa resistência, desde que seja devidamente dimensionado com base em modelos de interação solo-estrutura, sendo capaz de distribuir uniformemente os carregamentos e minimizar o risco de recalques diferenciais, além de garantir estabilidade dimensional à edificação e reduzir manifestações patológicas nas alvenarias, o que representa uma vantagem significativa em termos de durabilidade da construção

Sob a ótica econômica, o sistema mostrou-se competitivo além do custo inicial da fundação, mas sobretudo no custo global da obra, ao reduzir o tempo de execução, as perdas de materiais, os gastos com transporte de entulho e a necessidade de retrabalho, além de possibilitar maior previsibilidade orçamentária, especialmente quando associado à padronização de projetos, à compra em escala de insumos e ao uso de soluções industrializadas de montagem

As vantagens ambientais também se destacam, uma vez que o radier permite diminuir significativamente a geração de resíduos sólidos, reduz o consumo de madeira e aço, viabiliza o uso de concretos com adições minerais de baixo impacto ambiental e favorece a execução de obras mais limpas e silenciosas, alinhadas aos princípios da construção sustentável e aos compromissos de redução das emissões de carbono assumidos por políticas públicas e programas de habitação

No campo da sustentabilidade social, o sistema contribui para a inclusão produtiva ao possibilitar a capacitação de mão de obra local, simplificar a rotina de execução e tornar o processo mais acessível a profissionais de diferentes níveis técnicos, promovendo o fortalecimento das cadeias de suprimento regionais, a redução da dependência de serviços especializados e a valorização de soluções construtivas adaptadas às realidades socioeconômicas de cada território

A flexibilidade do radier também se mostrou relevante, permitindo adaptações a diferentes tipologias de planta, expansões futuras e integração com outros sistemas construtivos, o que reforça sua aplicabilidade em projetos que preveem crescimento progressivo das moradias ou personalização de unidades conforme as necessidades dos moradores, sem comprometer a integridade estrutural da fundação já executada

Os estudos analisados ao longo do artigo demonstraram que o radier é capaz de atender simultaneamente às demandas por qualidade técnica, economia de recursos, celeridade na execução e redução de impactos ambientais, qualificando-se, portanto, como um componente estratégico para o aprimoramento da engenharia aplicada à habitação social, em especial no Brasil, onde o déficit habitacional exige soluções eficientes e replicáveis em diferentes regiões e condições geotécnicas

É possível concluir que a adoção sistemática do radier por construtoras, projetistas e gestores públicos representa uma oportunidade concreta de transformar o modo como se pensa e se executa a base das edificações populares, substituindo processos fragmentados e dispendiosos por soluções integradas e otimizadas, capazes de melhorar a qualidade das construções, ampliar a segurança estrutural e garantir maior retorno social e ambiental aos investimentos realizados

Assim, recomenda-se que o uso do radier em projetos de habitação social seja incentivado por políticas públicas, integrado aos manuais de boas práticas técnicas e incluído nos programas de financiamento habitacional como solução preferencial sempre que compatível com as condições de solo e o perfil da obra, contribuindo para a elevação do padrão construtivo, a redução dos custos com manutenção e a promoção de um modelo de urbanização mais eficiente, justo e sustentável.



REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/nbr6118>.
- ABNT. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/nbr6122>.
- COVALESKY, M. R. Princípios da sustentabilidade em diferentes métodos construtivos: análise do viés econômico. Alegrete, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/riu/1234>.
- DEGANI, E.; SOUZA, P. H.; MELO, G. Práticas sustentáveis em programas de habitação social. *Revista Construção & Sustentabilidade*, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 45-60, 2021. Disponível em: <https://revistaconstrucoesustentabilidade.com.br/article/view/5678>.
- DÓRIA, L. E. S. Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier. Maceió, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Disponível em: https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/4321/1/dissertacao_radier.pdf.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: https://biblioteca.atlas.com.br/gtps/gil_metodos.pdf.
- GUEDES, A. T.; BURGOS, C. M. Avaliação do desempenho de radiers em solos de baixa capacidade de suporte. *Revista Engenharia Geotécnica*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 87-101, 2014. Disponível em: <https://www.abge.org.br/engeo/article/view/2901>.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de metodologia científica. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: https://atlas.com.br/fundamentos_metodologia.pdf.
- LELIS, G. J. D.; MIGLIORE JUNIOR, A. R. Estudo de caso de utilização de radier para habitações de interesse social. *Revista Ciência e Cultura*, Barretos, v. 72, n. 3, p. 123-134, 2020. Disponível em: <https://revista.unifeb.edu.br/cienciacultura/article/view/987>.
- LIMA, R. S.; GUEDES, P. R.; COSTA, H. A. Análise técnico-econômica do uso de radier em habitações populares no Tocantins. *Revista FAEMA*, Gurupi, v. 29, n. 1, p. 59-74, 2022. Disponível em: <https://faema.edu.br/revistafaema/article/view/2345>.
- OLIVEIRA, L. F.; SILVA JÚNIOR, S. H. Eficiência produtiva do radier em programas de habitação social. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 63., 2021, Florianópolis. Anais... Florianópolis: IBRACON, 2021. Disponível em: <https://ibracon.org.br/evento/cbc2021/anais/artigos/1123.pdf>.
- RIBEIRO, F. R. C.; SILVA, M.; MONTEIRO, C. G. Desempenho de radiers em residências populares: estudo de caso em Sobral-CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 10., 2020, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://cbpat.org.br/anais2020/paper/456.pdf>.
- RODRIGUES, M. D.; ALMEIDA, F. J. Estudo comparativo de sapatas isoladas e radier em casas populares. Pato Branco, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4567>.