

ISSN 2595-6531

REVISTA

Boletim do Gerenciamento
REVISTA ELETRÔNICA



Núcleo de Pesquisas em Planejamento e Gestão



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica



Expediente

Equipe Editorial

Supervisão Editorial:

Eduardo Linhares Qualharini

Comitê Editorial:

Eduardo Linhares Qualharini, POLI/UFRJ

Isabeth da Silva Mello, NPPG/UFRJ

José Luiz Fernandes, CEFET/RJ

Maurini Elizardo Brito, NPPG/UFRJ

Nikiforos Joannis Philyppis Jr., FACC/UFRJ

Osvaldo Ribeiro da Cruz Filho, CEFET/RJ

Assistente de Supervisão Editorial:

Maiane Ramos da Silva

Jornalista Responsável, Edição e Diagramação:

Fernanda Viviani de Paula (Registro Profissional: 0039905/ RJ)

Periodicidade da Publicação

Mensal

Responsável pela Publicação

Núcleo de Pesquisas em Planejamento e Gestão – NPPG

Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco D, sala D207

Cidade Universitária – Rio de Janeiro – CEP: 21941-909

Contato Principal

Eduardo Linhares Qualharini, D. Sc.

Núcleo de Pesquisas em Planejamento e Gestão - NPPG

Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro

(21) 3938-7965

boletimdogerenciamento@poli.ufrj.br



SUMÁRIO

1. **Um estudo Bibliométrico e Sistemático sobre o Planejamento de Sistemas de Drenagem Urbana 01**
2. **Aplicação do Método PDCA para melhoria do Processo Construtivo de uma Empresa de Grande Porte11**
3. **Um Estudo Sistemático sobre a Incorporação de Novas Tecnologias na Pavimentação19**
4. **Gerenciamento e Utilização de Resíduos da Construção Civil na Produção De Concreto 27**
5. **O uso do sistema Steel Frame como alternativa para melhor produtividade na Construção Civil. 35**
6. **Mapeamentos de publicações científicas sobre o uso do sistema light steel framing 45**
7. **Reforço de fundações diretas em pontes de concreto Armado55**



Um estudo Bibliométrico e Sistemático sobre o Planejamento de Sistemas de Drenagem Urbana

SOUZA, Wallace Barbosa¹, ABREU, Victor Hugo Souza², RIBEIRO, Maria Izabel de Paula³

¹ Pós-graduando em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Cívicas Poli/UFRJ

² Doutorando em Engenharia de Transportes, PET/COPPE – UFRJ

³ Professora de Pós Graduação da Poli/UFRJ

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 31 Mai 2019

Revisão: 04 Jun 2019

Aprovação: 28 Jun 2019

Palavras-chave:

Planejamento Urbano

Sistema de Drenagem

Revisão da Literatura

Resumo:

Um sistema de drenagem urbana tem por objetivo destinar as águas provenientes de precipitações por meio de um sistema de captação, para que não ocorram enchentes. Antes de se iniciar a execução de uma obra de drenagem, devem ser feitos estudos de planejamento para atender a padrões físicos, técnicos, econômicos, institucionais, sociais e ambientais. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo realizar análises bibliométricas e sistemáticas de estudos relevantes sobre o planejamento de sistemas de drenagem urbana, selecionados por meio de criteriosos filtros de inclusão e qualificação, de modo a orientar a comunidade acadêmica sobre o que de sólido e eficaz tem sido desenvolvido na literatura científica, principalmente nacional, sobre o assunto.

1. Introdução

O crescimento acelerado da população urbana em cidades de países em desenvolvimento, como o Brasil, acompanhado pela falta de um planejamento urbano eficiente, acarretou em impactos ambientais, sociais e econômicos (considerados o tripé da sustentabilidade), que interferem diretamente no cotidiano da população.

Nesse sentido, as crescentes preocupações a respeito dos efeitos do desenvolvimento urbano acelerado sobre o meio ambiente têm levado a comunidade

científica a buscar soluções mais sustentáveis, bem como implantação de sistemas eficientes de planejamento, gestão e controle de obras cívicas, para minimização dos problemas decorrentes do ambiente construído [1].

No Brasil, apesar dos inegáveis avanços técnicos, o planejamento urbano não tem apresentado avanços significativos no desenvolvimento e implementação de políticas públicas urbanas eficazes para lidar com os problemas essenciais das cidades brasileiras [2].

Um dos principais desafios dos planejadores urbanos brasileiros está no

fornecimento de sistemas drenagem urbana capaz de atender a demanda existente nas cidades.

A elaboração de uma rede de drenagem urbana consiste no planejamento e na elaboração de um sistema de escoamento das águas pluviais, por meio de tubulações subterrâneas, até um deságue (canais, valas, rios, entre outros). A drenagem urbana é um serviço público que visa o bem-estar da população, uma vez que objetiva a atenuação de enchentes ou alagamentos nas cidades, decorrente das precipitações, e evita a proliferação de doenças.

O Brasil enfrenta atualmente problemas generalizados no ambiente urbano associados a sistemas inadequados de drenagem urbana, principalmente para comunidades de baixa renda.

As principais restrições à implementação de um sistema de drenagem urbana eficaz estão relacionadas a aspectos institucionais e políticos [2]. Vários estudos de caso indicam que a ausência de uma infraestrutura de escoamento eficaz está relacionada com a falta de políticas adequadas e ineficazes estruturas institucionais para implementação de práticas de planejamento, gestão e controle [3]. Esse cenário é exacerbado por altas dívidas públicas, alocação de recursos ineficientes e precárias condições socioeconômicas, que levaram a muitas restrições orçamentárias [2].

Dessa forma, são necessários estudos específicos de planejamento eficiente de sistemas de drenagem urbana que atendam a padrões físicos, técnicos, econômicos, institucionais, sociais e ambientais.

Nesse sentido, este artigo tem como propósito verificar, na base dados *Web of Science*, quais são os artigos mais relevantes sobre o planejamento de sistemas de drenagem urbana, bem como avaliar esses estudos, utilizando análises bibliométricas e sistemáticas. Salienta-se ainda que é dado um enfoque especial aos estudos brasileiros sobre

a temática, dada a importância do assunto para o Brasil.

Este artigo encontra-se estruturado da seguinte forma. A Seção 1 apresenta a contextualização do assunto, a problemática e os objetivos da pesquisa. A Seção 2 trata da apresentação e descrição do planejamento de sistemas de drenagem urbana. A Seção 3 aborda sobre o procedimento metodológico utilizado para condução das buscas bibliográficas. A Seção 4 apresenta e discute os resultados. E por fim, a Seção 5 contém as considerações finais, seguida da bibliografia.

2. Planejamento de Sistemas de Drenagem Urbana

Para Ramos e Barros[4], o planejamento de drenagem urbana visa resolver e evitar problemas para a comunidade, por meio de ações reguladoras que são aplicadas desde sua concepção, até sua total conclusão. Tal planejamento deve atender a padrões físicos, técnicos, econômicos, institucionais, sociais e ambientais.

Os planos de drenagem eficiente contemplam:

- Estudo abrangente sobre as condições da bacia, para que todas as decisões tomadas sejam de grande alcance, com durações de maiores períodos de tempo, bem como, levantar os dados necessários para determinação de um projeto eficiente de sistema de drenagem de água pluvial;
- Criar normas e critérios para dimensionamento, com parâmetros pré-estabelecidos como: período de retorno, coeficiente de rugosidade, entre outros.
- Identificar as áreas de risco e zoneá-las e verificar as áreas que devem ser preservadas, evitando riscos de inundações e degradação ao meio ambiente, respectivamente;
- Possibilitar a harmonização da drenagem com outros sistemas por meio de sua

combinação com outros planos existentes (plano diretor, plano viário, plano de esgoto e água entre outros);

- Criar medidas preventivas com baixos custos, garantindo eficiência do sistema de drenagem. E, se necessário, prever as melhores medidas de controle de problemas de drenagem.

Silveira[5] observa que a falta de planejamento e a utilização de um conceito meramente sanitaria (sem uma visão ambiental urbana integrada e sustentável), associadas à falta de um órgão específico para o controle destas atividades, mostram o estado caótico em que se encontram os sistemas de drenagem das grandes cidades brasileiras.

A ausência do planejamento urbano na grande maioria das cidades brasileiras traz inúmeros problemas para a população que nelas residem, em decorrência dos impactos da urbanização sobre o meio ambiente.

Cita-se, como exemplo, os problemas relativos às enchentes urbanas, que podem desabrigar milhares de cidadãos, gerar altos prejuízos econômicos e proliferar doenças de veiculação hídrica como a *leptospirose* e malária e aqueles relativos à produção e transportes de cargas difusas de poluição que podem prejudicar os corpos de água.

3. Procedimento Metodológico

O procedimento metodológico deste artigo adota uma abordagem de Revisão Bibliométrica e Sistemática para mapeamento dos principais estudos sobre o planejamento de sistemas de drenagem.

A Revisão Bibliométrica é estudo dos aspectos quantitativos da produção científica, a disseminação e o uso da informação publicada e a sua validade. Esta área da ciência desenvolve padrões e modelos estatísticos para medir tais processos [6].

A Revisão Sistemática é particularmente útil para integrar as informações de um

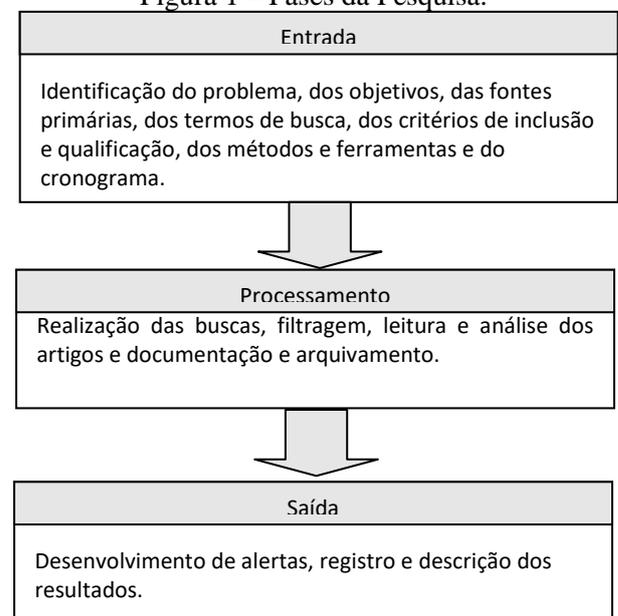
conjunto de estudos realizados separadamente, que podem apresentar resultados conflitantes e/ou coincidentes, bem como identificar temas que necessitam de evidência, auxiliando na orientação para investigações futuras [7].

A metodologia utilizada neste artigo baseia-se em Conforto *et al*[8] e Abreu[9], que assim como estabelecido por [10], dividiram-na em três fases, conforme apresentadas na Figura 1.

Na Fase 1, há procedimentos que precisam ser cuidadosamente definidos para obter informações confiáveis e aplicáveis para o estudo. Levy e Ellis[10] indicam que em qualquer abordagem sistemática que a Fase de Entrada é incorreta, de baixa qualidade ou irrelevante, os resultados obtidos na Fase de Saída serão ineficazes, independentemente da qualidade da Fase de Processamento.

Na Fase 2, Fase de Processamento, são realizadas as buscas, a filtragem, a leitura, a documentação e o arquivamento dos artigos selecionados para o estudo.

Figura 1 – Fases da Pesquisa.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

A Fase 3, Fase de Saída, compreende as etapas de desenvolvimento de alertas, registro dos artigos selecionados pelos filtros de

inclusão e qualificação e a síntese dos resultados.

Cabe ressaltar que, na Fase de Entrada, os termos de busca mais adequados foram definidos por meio de uma pesquisa preliminar nas fontes primárias. Além disso, buscaram-se definir os critérios de inclusão e qualificação dos artigos, necessários para a boa condução da pesquisa. Portanto, os termos utilizados, os critérios de inclusão e qualificação, bem como os detalhes para a busca e extração do banco de dados estão explícitos na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição da estratégia de pesquisa.

Critério	Descrição
Tópico	<i>TS = ("urban drainage system*" AND "planning")</i>
Base de Dados	<i>Web of Science</i>
Indexes	SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI
Inclusão	(I) Tempo de cobertura: todos os anos da base de dados (1945 – 2019); (II) Enquadramento com o objetivo proposto; (III) Fator de impacto do periódico; e (IV) Tipos de documentos: somente artigos.
Qualificação	(I) A pesquisa apresenta uma revisão bibliográfica bem fundamentada? (II) O estudo apresenta inovação técnica? (III) As contribuições são discutidas? (IV) As limitações são explicitamente declaradas? e (VI) Os resultados e conclusões são consistentes com os objetivos pré-estabelecidos?
Data do Estudo	17 de maio de 2019, as 16h00min

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Destaca-se que TS = Tópico, representa as palavras que são pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos.

Além disso, em relação aos *indexes* tem-se: (i) SCI-EXPANDED cobre mais de 8.300 periódicos em 150 áreas diferentes, com publicações de 1945; (ii) SSCI centra-se nas ciências sociais, cobrindo 2.950 fontes de publicação, em mais de 50 áreas, desde 1956;

(iii) A&HCI é um índice de citação da área de Artes e Humanidades, cobrindo mais de 1.600 fontes de publicação, desde 1975; (iv) CPCI-S abrange a literatura de procedimentos de conferências de todas as áreas técnicas e científicas; (v) CPCI-SSH abrange a literatura de procedimentos de conferências de todos os campos das ciências sociais, Artes e Humanidades; e (vi) ESCI cobre publicações de 2015, este índice contém registros de artigos em periódicos não cobertos pela SCI-EXPANDED, SSCI e A&HCI ainda [11].

4. Resultados

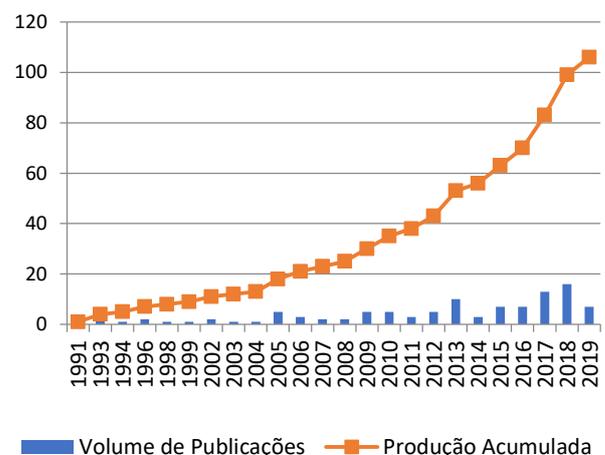
Com a aplicação dos filtros de inclusão e qualificação, aponta-se que foram incluídos no repositório de pesquisa 106 artigos internacionais. Além disso, dentre estes estudos, consta-se a presença de quatro artigos nacionais.

As próximas subseções buscam realizar análises bibliométricas de todos os artigos encontrados na base de dados e análises sistemáticas dos artigos nacionais.

4.1 Análises bibliométricas dos artigos

A Figura 2 apresenta a evolução das publicações sobre o assunto, com o propósito de verificar a relevância de novos estudos sobre a temática.

Figura 2 – Evolução das publicações sobre o assunto em estudo.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Na Figura 2, nota-se que a primeira publicação foi registrada em 1991, mas houve uma constância nas publicações apenas a partir de 2002. Há um aumento do interesse pela temática, a partir de 2015, e o assunto continua em expansão, com ápice também em 2018. Além disso, a curva acumulada representa o interesse crescente sobre o tema ao longo dos anos. Com essas informações percebe-se que, embora o assunto seja antigo, continua sendo fortemente averiguado nos anos atuais.

Também se considerou pertinente realizar avaliação em relação os países de origem das Instituições de Ensino dos autores que mais desenvolvem artigos relevantes sobre o assunto. Dessa forma, os países com volume de publicações maior que três artigos são identificados na Tabela 2. Destaca-se que P (Publicações) refere-se ao quantitativo de artigos publicados por país sobre a área de interesse investigada.

Tabela 2 – Principais países de origem dos artigos mais relevantes sobre o assunto.

Países/Regiões	P
Alemanha	21
Inglaterra	18
Dinamarca	12
Austrália	11
Áustria	11
China	9
Suíça	9
Itália	8
Canadá	7
Holanda	7
Escócia	6
Brasil	4
Espanha	4
Suécia	4
EUA	4

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 2, nota-se que os países que mais publicam estudos sobre o assunto são: Alemanha, com 21 publicações, Inglaterra, com 18 publicações, e Dinamarca, com 12 publicações. Além disso, o Brasil configura-se na décima segunda posição entre os países mais relevantes do mundo sobre o assunto. Destaca-se ainda que a busca encontrou artigos de 33 países distintos, demonstrando assim a importância desse assunto em nível mundial.

Torna-se também importante avaliar os artigos por periódico de publicação, de modo a identificar quais são as revistas que mais se interessam pelo assunto. Nesse sentido, a Tabela 3 apresenta os periódicos cujo volume de publicação é, no mínimo, maior a cinco artigos. Salienta-se que aproximadamente 47 revistas científicas publicaram estudos sobre a temática.

Menciona-se ainda que P (Publicações) refere-se ao quantitativo de artigos publicados no periódico sobre a área de interesse investigada e FI (Fator de Impacto) avalia a importância de periódicos científicos em suas respectivas áreas. Os valores apresentados na Coluna FI correspondem ao ano de 2017.

Tabela 3 – Principais periódicos sobre o assunto.

Periódicos de Publicação	P	FI
<i>Water Science and Technology</i>	27	1,247
<i>Journal of Hydrology</i>	8	3,727
<i>Urban Water Journal</i>	8	2,744
<i>Journal of Hydrologic Engineering</i>	4	1,576
<i>Science of The Total Environment</i>	4	4,610
<i>Water</i>	4	2,069
<i>Sustainability</i>	3	2,075

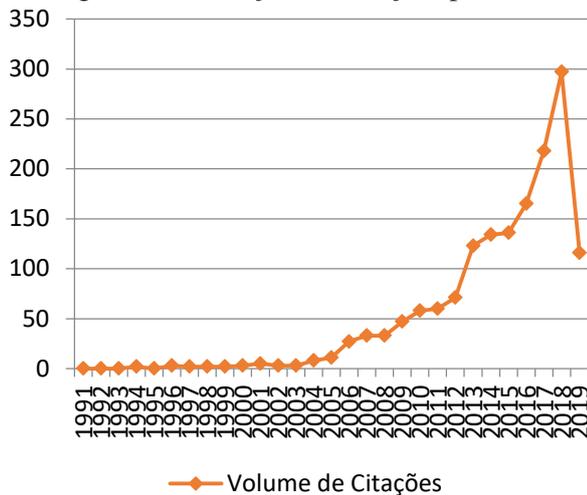
Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 3, nota-se que os periódicos que mais se interessam pelo assunto são: *Water Science and Technology*, com 27 publicações e *Journal of Hydrology* e *Urban Water Journal*, com 8 publicações

cada. Salienta-se ainda que ao ordenar os periódicos por FI, identifica-se que aqueles mais relevantes são: *Science of The Total Environment*, *Journal of Hydrology* e *Urban Water Journal*.

Outra análise importante refere-se ao número de citações por ano, conforme é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Evolução das citações por ano.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Na Figura 3, observa-se que o número de citações cresceu com o passar dos anos, a partir do ano de 1994, atingindo o ápice em 2018 com 297 citações, demonstrando o crescente interesse pelo assunto. Destaca-se ainda que, ao todo, foram identificadas 1.562 citações, demonstrando assim o grande interesse de pesquisadores sobre o assunto.

4.2 Análises sistemáticas dos artigos nacionais

Na base de dados *Web of Science* foram identificados quatro artigos brasileiros sobre o assunto, conforme apresentado na Tabela 4.

Salienta-se que C (citações) refere-se ao quantitativo de artigos que mencionam o artigo analisado e MCA (média de citações por ano) refere-se ao valor médio obtido pelo número de citações totais dividido pelos anos decorrentes desde sua publicação.

Tabela 4 – Artigos brasileiros sobre o planejamento de sistemas de drenagem.

Autores	Periódico	C	MCA
[1]	<i>Journal of Urban Planning and Development</i>	12	3,00
[2]	<i>Water Science and Technology</i>	4	0,29
[12]	<i>Water Science and Technology</i>	0	0,00
[13]	Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade	0	0,00

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 4, constata-se que o artigo com maior número de citações é Miguez *et al*[1], com 12 citações e média de 3 citações por ano. Nota-se ainda que a investigação brasileira sobre o assunto é atual (fato que impacta diretamente no baixo número de citações totais), com artigo mais antigo publicado no ano de 2005. Além disso, um artigo é do ano de 2014, um do ano 2015 e um de 2018.

A fim de apresentar os assuntos mais pertinentes analisados no Brasil, busca-se apresentar um breve resumo sobre cada um dos artigos qualificados e diretamente aplicáveis ao assunto, conforme segue.

Miguez *et al*[1] discutiram a necessidade de integrar práticas inovadoras de drenagem de águas pluviais com o processo de planejamento urbano, especialmente no que se refere à limitação associada ao aumento de superfícies impermeáveis, ao mesmo tempo em que tenta lidar com o escoamento gerado pela expansão urbana. A interação entre o crescimento urbano e o manejo de águas pluviais é investigada, utilizando um estudo de caso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro para ilustrar as principais descobertas. Para cumprir este objetivo, o atual cenário de

inundações para esta área é modificado sob duas premissas: (i) Considerando uma abordagem tradicional de sistema de drenagem, focando em medidas de canalização; e (ii) Uma abordagem de gerenciamento distribuído de águas pluviais, baseada nos conceitos de sistema de drenagem urbana sustentável. Então, essas duas soluções são testadas quanto à sua eficácia, sob diferentes cenários de crescimento urbano futuro e mudanças no uso da terra. A capacidade dessas duas abordagens de manter suas funções de projeto é verificada pelos padrões urbanos futuros propostos. A avaliação quantitativa dos cenários prospectivos de inundação urbana é apoiada por modelagem matemática. A partir dos resultados das simulações conduzidas, pode-se confirmar a importância crucial do planejamento do uso da terra no processo de controle de inundações urbanas. Os controles descentralizados de águas pluviais, embora mais resilientes do que as medidas tradicionais de canalização, tendem a falhar em longo prazo se o planejamento do uso da terra não for tratado adequadamente. Um elemento fundamental para o controle de inundações é a integração de soluções de drenagem com o desenvolvimento urbano, de forma sistêmica, e considerando a escala da bacia como referência de planejamento e projeto.

Soares *et al* [2] propuseram uma abordagem para fornecer uma metodologia prática para integrar o saneamento e o planejamento de sistemas de drenagem urbana em cidades brasileiras. No desenvolvimento do modelo foram considerados aspectos técnicos, institucionais, financeiros, socioeconômicos, ambientais e de saúde pública. A metodologia adotada possui algumas semelhanças com a abordagem existente no *software* de apoio à decisão, chamado SANEX (*Sanitation Planning Decision Support Support*), que visa avaliar várias tecnologias de saneamento de acordo com várias restrições críticas que podem

afetar a sustentabilidade do sistema [14]. No entanto, [2] aperfeiçoaram a metodologia SANEX incorporando a ela aspectos relacionados à drenagem urbana. A metodologia proposta envolve seis etapas: (i) Coleta de informações sobre a situação existente; (ii) Desenvolvimento de cenários; (iii) Triagem; (iv) Avaliação quantitativa de cenários; (v) Avaliação qualitativa de cenários; e (vi) *Framework* para comparação de diferentes cenários. Os resultados mostram que as razões para a falta de sucesso no saneamento e no planejamento da drenagem urbana no Brasil estão associadas a problemas sociais mais do que a problemas técnicos. O ganho desta abordagem de modelagem integrada foi o desenvolvimento de uma metodologia para fins de planejamento que considera tanto o saneamento, quanto a drenagem urbana.

Santos e Benetti [12] aplicaram o modelo de uso urbano de água (desenvolvido por Santos e Van der Steen [15], que é uma ferramenta de suporte de decisão para definir o melhor grupo de medidas eficientes de uso da água. O modelo considera as interfaces entre os sistemas de serviços de água, enquanto que, por meio do planejamento estratégico, é possível elaborar uma visão a ser alcançada em cenários futuros. Especificamente, para definir o melhor grupo de medidas de uso eficiente da água, o modelo possui muitas alternativas que são baseadas nas filosofias de gestão da demanda de água, saneamento descentralizado, saneamento ecológico e sistema de drenagem urbana sustentável. A complexidade do uso da água no Brasil é um bom exemplo para utilização do modelo em questão. Nesse contexto, o modelo foi aplicado na Cidade de Seara, Santa Catarina, Brasil. Nesta aplicação, cinco cenários foram elaborados. Os grupos de medidas foram compostos por sistemas de águas cinzas (utilizados para tratar águas provenientes de chuveiros, pias - com exceção da cozinha-, máquinas de lavar roupas, tanques), tiras de filtro (utilizados para reduzir

a contaminação da água da superfície), dispositivos de economia de água em edifícios e redução de perda de água em sistemas de abastecimento de água e sistema de tratamento de águas residuais. Os resultados comprovaram que grupo de medidas que apresentou a maior eficácia foi baseado na gestão da demanda de água e nas estratégias descentralizadas de saneamento. Assim, com medidas correspondentes relacionadas a isso, foi possível construir um plano de gestão para o uso eficiente da água em Seara. Este plano destaca ações como a redução do consumo de água por conta da capacidade de produção e implementação de estações de tratamento de águas residuais descentralizadas. Essas medidas são mais baratas e promovem bons resultados técnicos.

Tasca e Pompêo[13] realizam um levantamento em 27 Municípios, em 2012, atendidos pela Bacia do Rio Itajaí Açu, que é a região mais afetada por desastres hidrológicos do Estado de Santa Catarina, e compararam as informações coletadas a um estudo semelhante desenvolvido em 1998. Observou-se que a drenagem urbana está geralmente vinculada ao setor da construção, com intervenções de caráter eminentemente estrutural e pontual, não relacionadas à abrangência do planejamento. Em 2012, os gestores não consideraram a ausência de um Plano Diretor de Drenagem Urbana como um problema, ao contrário do que está previsto na literatura técnica do Brasil e do mundo. A maioria dos municípios tem assoreamento nos cursos d'água, mas a manutenção e a dessorção desses sistemas não são realizadas periodicamente. Em geral, os principais problemas dos municípios estão relacionados à falta de recursos, o que impossibilita a gestão eficiente da drenagem e a presença de pessoal técnico qualificado. O panorama encontrado foi semelhante nos dois levantamentos (1998 e 2012), ou seja, a evolução no manejo da drenagem urbana não foi significativa em um horizonte de 14 anos. A drenagem urbana continua sendo uma parte

secundária do saneamento ambiental, mesmo em uma das principais bacias hidrográficas brasileiras afetadas por desastres naturais, demonstrando que a falta de uma noção técnica do problema é um dos principais obstáculos ao seu manejo adequado.

5. Considerações Finais

Sistemas de drenagem urbana ineficientes causam prejuízos à sociedade como inundações e proliferação de doenças. Dessa forma, há a necessidade de realizar estudos técnicos específicos sobre o planejamento eficiente de sistemas de drenagem urbana.

Nesse sentido, esta pesquisa busca investigar os estudos científicos que tratam especificamente sobre o assunto. Para isso, foram realizadas Revisões Bibliométricas, de todos os artigos incluídos no repositório de pesquisa, e Sistemáticas dos trabalhos brasileiros, de modo a orientar pesquisadores sobre artigos qualificados e diretamente aplicáveis à temática.

As análises bibliométricas constataam que o assunto continua em expansão, com ápice no número de publicações em 2018, e que o número de citações cresceu com o passar dos anos, a partir do ano de 1994, atingindo o ápice em 2018. Além disso, identifica-se que o Brasil é o décimo segundo país que mais publica estudos sobre o assunto e que importantes periódicos científicos se interessam pela temática como o *Science of The Total Environment*, *Journal of Hydrology* e *Urban Water Journal*.

Em relação às análises sistemáticas, focada nos estudos brasileiros, nota-se que: (i) Miguez *et al*[1] discutiram a necessidade de integrar práticas inovadoras de drenagem de águas pluviais com o processo de planejamento urbano; (ii) Soares *et al*[2] propuseram uma abordagem para fornecer uma metodologia prática para integrar o saneamento e o planejamento de sistemas de drenagem urbana em cidades brasileiras; (iii)

Santos e Benetti[12] aplicaram o modelo de uso urbano de água, que é uma ferramenta de suporte de decisão, para definir o melhor grupo de medidas eficientes de uso da água; e (iv) Tasca e Pompêo[13] realizam um levantamento em 27 municípios atendidos pela Bacia do Rio Itajaí Açu, que é a região mais afetada por desastres hidrológicos do Estado de Santa Catarina.

Como limitação, menciona-se que o estudo utilizou apenas um banco de dados (*Web of Science*), não considerando publicações contidas em outras bases como *ScienceDirect*, *Scielo* e *Scopus*. Além disso, destaca-se que os termos de busca podem influenciar nos resultados. Portanto, os artigos incluídos no repositório de pesquisa são limitados pelo banco de dados e os termos de busca utilizados.

Como proposta para trabalhos futuros, considera-se pertinente realizar análises sistemáticas dos artigos internacionais que tratam diretamente do assunto, de modo a incorporar as melhores práticas e modelos no planejamento dos sistemas de drenagem urbana brasileiros.

6. Referências

- [1] M. G. Miguez, O. M. Rezende, A. P. Veról, City growth and urban drainage alternatives: sustainability challenge. *Journal of Urban Planning and Development*, 141, 3, 2015.
- [2] S. R. A. Soares, J. Parkinson, R. S. Bernardes, Analysis of scenarios for wastewater and urban drainage systems in Brazil based on an integrated modeling approach, *Water Science and Technology*, 52, 9, 53–60, 2005.
- [3] S. R. A. Soares, Sanitary systems planning in urban centers: basis for a conceptual model development, M.Sc thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Brasília, Brasil. (In Portuguese), 2002.
- [4] C. L. Ramos, M. T. L. Barros, J. C. F. Palos, Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, São Paulo, 1999.
- [5] A. L. L. Silveira, Drenagem urbana: aspectos de gestão, Rio Grande do Sul: 2002.
- [6] J. Tague-Sutcliffe, An introduction to informetrics, *Information Processing and Management*, 28, 1, 1-3, 1992.
- [7] K. Linde, S. N. Willich, How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine, *The Journal of the Royal Society of Medicine*, 96, 17-22, 2003.
- [8] E. C. Conforto, D. C. Amaral, S. L. Silva, Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos, Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto – CBGDP, 1–12, 2006.
- [9] V. H. S. Abreu, Revisão bibliográfica sistemática sobre o problema de localização de sensores de tráfego em redes, Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes, ANPET, 2017.
- [10] Y. Levy, T. J. Ellis, A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research, *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 9, 181–212, 2006.
- [11] THOMSONREUTERS, Web of Science, TM Todas as bases de dados, 2016.
- [12] D. C. Santos, A. Benetti, Application of the urban water use model for urban water use management purposes, *Water Science and Technology*, 70(3), 407–413, 2014.
- [13] F. A. Tasca, C. A. Pompêo, A. R. Finott, Evolução da gestão da drenagem urbana na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu,

Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS, 7, 2, 2018.

- [14] T. Loestcher, Appropriate sanitation in developing countries: the development of a computerised decision aid, PHd thesis, Department of Chemical Engineering, University of Queensland, Brisbane, Australia, 1999.
- [15] D. C. Santos, P. Van der Steen, Understanding the IUWM principles, Report, UNESCO-IHE, Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, 2010.



Aplicação do Método PDCA para melhoria do Processo Construtivo de uma Empresa de Grande Porte

CUNHA, Joyce Dias da Costa¹, ABREU, Victor Hugo Souza²

¹ Pós- graduanda em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civas, PGCOC/POLI – UFRJ

² Doutorando em Engenharia de Transportes, PET/COPPE – UFRJ

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 31 Mai 2019

Revisão: 04 Jun 2019

Aprovação: 28 Jun 2019

Palavras- chave:

Construção Civil

Método PDCA

Processo Construtivo

Resumo:

Com atual situação econômica brasileira, as empresas têm investido cada vez mais na evolução do processo construtivo de seus empreendimentos, visando uma construção com menos desperdícios. A ideia é justamente a de construir mais, em um menor tempo e com o menor custo. Nesse sentido, o ciclo PDCA é um método de solução de problemas que possibilita que as diretrizes traçadas (redução de tempo e custo, por exemplo) sejam viabilizadas na empresa. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é descrever a aplicação do método PDCA em uma construtora brasileira de grande porte. Este trabalho apresenta uma experimentação teórica e prática, cujos resultados indicam que a aplicação do método pode acarretar em melhorias contínuas no lucro das empresas.

1. Introdução

O crescente grau de competição entre as empresas da construção civil brasileira, nos últimos anos, exige mudanças substanciais na gestão de seus empreendimentos. Em parte, isso tem sido motivado pelo aumento do nível de exigência do mercado consumidor, pelo fenômeno da globalização e pela reduzida disponibilidade de recursos financeiros.

Com isso, a necessidade de investimentos em gestão e tecnologia da produção tem estimulado as construtoras a buscar melhores níveis de desempenho, conforme indicado por Formoso [1].

No cenário atual da construção civil no Brasil, a maioria das construtoras executa obras estabelecendo prazos baseados em construções anteriores, sem se preocupar em realizar uma análise detalhada de acordo com as especificações da obra, não garantindo o cumprimento do prazo e do custo orçado.

Assim, durante o andamento da construção (rotina), quando a empresa percebe que não concluirá a obra dentro do prazo, tenta reverter a situação tomando algumas decisões inadequadas como, por exemplo, aumentar o número de funcionários na obra sem realizar uma análise prévia, o que

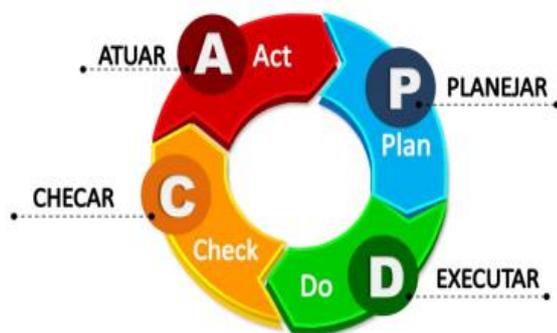
pode acabar acarretando em um aumento no custo de produção sem resultar em melhoria.

Desta forma, segundo Falconi [2], é preciso fazer um diagnóstico da rotina, identificar onde ela está ineficiente e o que pode ser feito para melhorá-la, e em seguida aplicar um método que pode ser entendido como um conjunto de procedimentos que garantem a alcance e manutenção dos resultados esperados.

Dentre os possíveis métodos de melhoria do processo produtivo, o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*), conforme apresentado na Figura 1, encontra-se largamente difundido em escala mundial, embora ainda seja pouco utilizado na construção civil. É um método gerencial dos processos produtivos, utilizado pela grande maioria das empresas para direcionar a rotina e melhorar continuamente os resultados.

O ciclo PDCA tem por princípio tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão do empreendimento, identificando as causas dos problemas e as soluções para os mesmos. É aplicado principalmente nas normas de sistemas de gestão e pode ser utilizado em qualquer organização de forma a garantir o sucesso nos negócios, independentemente da área ou departamento, conforme explicado por Alves [3].

Figura 1 – Ciclo PDCA.



Fonte: Alves (2015).

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo descrever o processo de aplicação do

método PDCA em uma construtora de grande porte, atividade que permite melhorar os resultados. Atualmente a aplicação desse método não está consolidada no Brasil, sendo assim, esse detalhamento visa mostrar os benefícios de sua aplicação na construção civil brasileira.

Para alcançar o objetivo, este artigo encontra-se dividido conforme descrito a seguir. Esta seção introdutória aborda questões relacionadas ao objetivo, à contextualização, à justificativa e à estruturação do trabalho. Na Seção 2, apresenta-se a revisão bibliográfica, que fornece fundamentação teórica sobre o assunto estudado e, na Seção 3, aborda-se sobre o procedimento metodológico. Na Seção 4, mostra-se a aplicação do método PDCA em uma construtora de grande porte, utilizada como estudo de caso. E, por fim, na Seção 5, são apresentadas as considerações finais do trabalho, seguida das referências bibliográficas.

2. A Gestão e o Ciclo PDCA

Gerir um processo produtivo é o ato de buscar as causas (meios) da impossibilidade de se atingir uma meta (fim), estabelecer contramedidas, montar um plano de ação e atuar e padronizar os casos de sucesso. Com a gestão é possível identificar e melhorar o desempenho de uma empresa quando este não satisfaz as metas e objetivos estabelecidos.

A gestão da produção na construção civil situa-se num contexto de gestão do sistema produtivo da obra como um todo. Tal sistema envolve o conjunto das atividades de produção propriamente ditas e as de planejamento, principalmente aquelas que se desenrolam no canteiro de obras. Para que a gestão da produção seja tratada de forma global, deve-se, ainda, considerar atividades que são desenvolvidas fora do canteiro, de acordo com Cardoso [4].

Assim, a gestão de processos vem sendo cada vez mais importante para atingir a

excelência operacional e a continuidade dos esforços de melhoria, a partir da eliminação de não conformidades, além de fomentar nas organizações uma cultura voltada à eliminação de falhas e desperdícios e busca por resultados cada vez melhores, como estabelecido por Silva *et al.* [5].

Um método eficaz para a prática da gestão é o PDCA ou também conhecido como Ciclo de *Deming*. De acordo com Vieira Filho [6], o PDCA gerencia as tomadas de decisões de forma a melhorar atividades de uma organização, sendo, também, muito explorado na busca da melhoria da performance. Isso faz com que o PDCA contribua significativamente para a obtenção de melhores resultados.

As principais fases do PDCA são:

- Fase 1 (*plan*) – Planejar, que representa o estabelecimento de objetivos e metas, com base nas diretrizes da empresa. Nesta fase escolhe-se um processo ou problema a ser sanado, que pode ser uma atividade, linha de montagem, um método, etc.;
- Fase 2 (*do*) – Executar, que consiste no treinamento dos envolvidos no método a ser empregado, a execução propriamente dita e a coleta de dados para análise posterior;
- Fase 3 (*check*) – Verificar, que analisa se o planejado foi alcançado por meio da comparação entre as metas desejadas e os resultados obtidos. Nesta fase podem ser detectados erros ou falhas; e
- Fase 4 (*act*) – Agir, que realiza as ações corretivas, ou seja, a correção das falhas encontradas no passo anterior e pelo processo de padronização das ações executadas, cuja eficácia foi verificada anteriormente. É nessa fase que se inicia novamente o ciclo levando ao processo de melhoria contínua.

O ciclo PDCA foi desenvolvido para ser utilizado de uma maneira dinâmica. Dessa forma, ao realizar uma volta e se estabilizar,

uma nova etapa fluirá dando início a um novo ciclo e assim, sucessivamente, principiando a filosofia de melhoria contínua. Isso permite que os processos sejam aproveitados de maneira efetiva, reduzindo o valor dos custos e aumentando a produtividade.

3. Procedimento Metodológico

Baseado em Antunes *et al.* [7], este trabalho consiste em uma pesquisa empírica com abordagens qualitativas, por tentar compreender determinado fenômeno com base em relatos, assim como indicado por Sampieri *et al.* [8].

Inicialmente, a metodologia deste trabalho está baseada na pesquisa bibliográfica por meio de leitura minuciosa de estudos realizados na área de gestão de obras.

Posteriormente, considerando os objetivos desse artigo, julgou-se adequado conduzi-lo por meio de um estudo de caso. Os estudos de caso não buscam a generalização dos resultados, mas sim, a compreensão e interpretação mais profunda de fatos e fenômenos, utilizando mais de um procedimento de coleta de dados, conforme descrito por Yin [9].

O estudo de caso foi aplicado com propósito de descrever como a incorporação do ciclo PDCA na gestão de uma empresa de grande porte do setor de construção de edifícios residenciais pode impactar positivamente na obtenção de melhores resultados (redução de desperdícios, por exemplo). A construtora em questão, sediada na cidade de Belo Horizonte, configura entre uma das mais valiosas empresas do Brasil.

As informações obtidas durante o processo de pesquisa foram facilitadas pela aproximação do autor principal com a empresa em questão, caracterizando uma não aleatoriedade na escolha da construtora sob análise.

O levantamento de dados se deu com as visitas à empresa e entrevistas não

estruturadas junto aos seus colaboradores. O processo de levantamento não estruturado permite certa liberdade para o pesquisador no encaminhamento das entrevistas, possibilitando confirmar informações não compreendidas e contribuindo para um melhor entendimento do estudo em si, de acordo com Marconi e Lakatos [10].

4. Aplicação do Método PDCA em uma Empresa de Grande Porte

A construtora em estudo, ao longo dos últimos anos, identificou que, para se manter entre as maiores construtoras do país, precisava melhorar os prazos e custos de suas obras, para que não fosse afetada pela crise e mantivesse o número de unidades em construção.

Dessa forma, verificou-se que os estoques dos empreendimentos não possuíam uma logística adequada, que a forma de produção não estava padronizada e que existia bastante desperdício (controle pouco efetivo).

Sendo assim, a empresa buscou uma forma de melhorar seu próprio processo construtivo, utilizando o método PDCA, para identificar problemas e traçar metas. Nas próximas subseções são apresentadas as novas diretrizes adotadas.

4.1 O Ciclo PDCA na Construtora

Constatou-se que era necessário aumentar a capacidade crítica e analítica das lideranças das obras, para que estas pudessem conduzir a resolução de problemas críticos e alcançar as metas planejadas. Dessa forma, desenvolveu-se um método de resolução dos problemas, adequado à realidade da obra, que eliminasse tudo que não agregasse valor.

Por meio de uma reunião com os principais líderes e gerentes da empresa foram levantadas três questões sobre a gestão da empresa:

- Como está a gestão nas obras da construtora? (R: Falta uma elaboração do planejamento, definição de metas e gestão da rotina do dia a dia);

- Existem oportunidades para melhorar a gestão? (R: Sim. Fazendo a gestão da rotina da obra por meio da apuração de resultados, registro de anomalias, plano ação, etc.);
- Qual método aplica-se nas obras para alcançar as metas? (R: Não há. Entretanto, nota-se método é importante para mostrar o caminho e juntar todos os esforços para um mesmo objetivo).

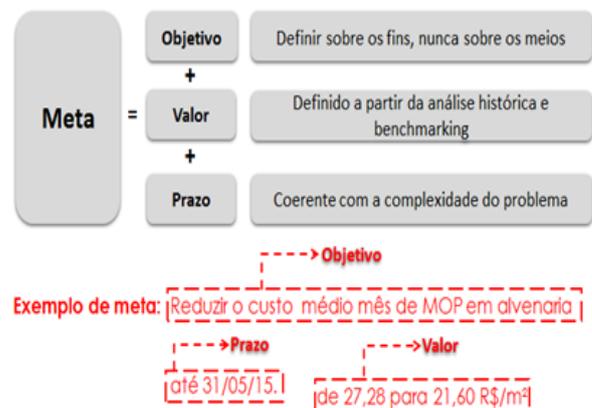
Portanto, definiu-se a implantação da gestão de canteiro, pelo método PDCA, visando à resolução de problemas com foco no resultado, o alcance das metas e a garantia da execução do projeto conforme prazo, custo e qualidade, planejados para cada empreendimento.

Após a determinação do método, foi necessário definir as metas no ponto de vista da construtora, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Definição de Metas.

Meta: Resultado a ser alcançado.

OBS: A meta não pode se adequar às condições do canteiro, são as condições do canteiro que precisa se adequar a meta.

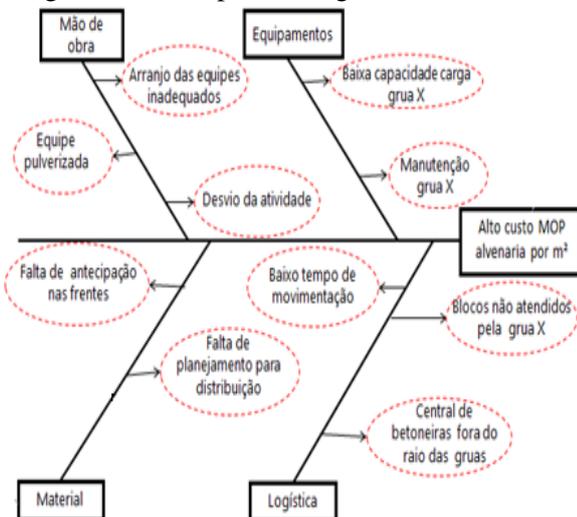


Fonte: Dados Internos da Construtora (2019).

Para definir bem as metas, é necessário entender o problema que precisa ser resolvido. Dessa forma, a construtora passou a identificar suas principais falhas para poder corrigi-las e melhorá-las. Como exemplo, o custo de alvenaria alto em relação à meta é um problema, ou seja, isto é um efeito indesejado.

Este efeito é causado no meio (canteiro de obra) por um conjunto de causas (material não chega à obra, absenteísmo, funcionário ineficiente, logística inadequada da obra, etc.). Dessa forma, é importante identificar as causas raízes para que o resultado/efeito indesejado seja impedido de continuar ocorrendo. A seguir, na Figura 3, é demonstrado o diagrama de espinha de peixe, conhecido como, *Ishikawa*, que é utilizado para identificar as causas dos problemas. Salienta-se que nesse diagrama as causas estão sempre na espinha do peixe e os problemas sempre na cabeça.

Figura 3 – Exemplo do diagrama de *Ishikawa*.



Fonte: Dados Internos da Construtora (2019).

Ao chegar às causas, montou-se um plano de ação, que apresenta as medidas de melhoria e seus respectivos responsáveis e prazos. Complementado a idéia de resolução de problemas (identificação e correção das falhas), a empresa definiu que, para obtenção de bons resultados, é necessário que existam três pilares, apresentados na Figura 4.

Conforme identificado na Figura 4, a liderança é realizada pelo engenheiro/coordenador que tem a função de definir a divisão do trabalho, atribuir responsabilidades, tomar decisões, ter boa comunicação com a equipe, dar suporte para equipe e disponibilizar recursos. O método é

realizado pelo controle/DO que tem como papel principal viabilizar as mudanças dos processos e buscar bloqueios para as causa dos problemas, apoiado em fatos e dados (confiáveis) para atingir a meta. E por fim, o controle técnico é realizado pelo encarregado/mestre que precisa ter conhecimento referente à atividade e habilidade e ação para executá-la.

Figura 4 – Ciclo a ser seguido na Construtora.



Fonte: Dados Internos da Construtora (2019).

Após a apresentação do método, meta, problemas e dos pilares importantes para obtenção de resultados, é demonstrado, na Figura 5, o ciclo do PDCA que foi implantado pela construtora.

Na Figura 5, a representação de cada algarismo (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8) é dada, conforme segue:

- (1) Identificação do problema – resultado abaixo da meta;
- (2) Análise do fenômeno – desdobramento do problema para uma maior compreensão;
- (3) Análise do processo – identificação das causas;
- (4) Plano de ação – contramedida para bloquear a causa do problema;
- (5) Execução do plano – implantar contramedidas;
- (6) Checar os resultados – verificar se a meta foi atingida;

- (7) Análise dos desvios e implantação das ações corretivas; e
- (8) Padronização – se o resultado atingir a meta, padronizar o processo, e se não, realizar o ciclo PDCA novamente.

Figura 5 – Ciclo PDCA implantado na construtora.



Fonte: Dados Internos da Construtora (2019).

Após a aplicação do método, a construtora reestruturou a equipe, investiu em treinamentos e em novas ferramentas de gestão de empreendimentos que visam o cumprimento dos prazos e diminuição dos custos. Além disso, foi criado o Programa de Desenvolvimento de Engenheiros.

4.2. Implantação da Gestão de Canteiro por meio do PDCA

A empresa buscou implantar o método PDCA em suas atividades e a primeira delas correspondeu à gestão do canteiro de obras. Conforme apresentado na Figura 6, dividiu-se a gestão do canteiro em cinco etapas:

- Iniciar: lançar o empreendimento e registrá-lo, desenvolver o alvará do empreendimento, etc.;
- Planejar: definir cronograma, orçamento, materiais, equipe, serviços e máquinas;
- Executar: mobilizar recursos humanos e materiais para a execução da obra;
- Monitorar e Controlar: gerenciar o planejamento e execução da obra (garantir prazo, custo e qualidade); e
- Encerrar: desmobilizar os recursos da obra.

Figura 6 – Etapas da Gestão de Canteiro, PDCA.



Fonte: Dados Internos da Construtora (2019).

O uso do método PDCA trouxe inúmeros benefícios para construtora como:

- Avaliação do desempenho (real *versus* planejado);
- Identificação das características dos problemas;
- Identificação das causas dos problemas;
- Elaboração de ações corretivas robustas;
- Acompanhamento da eficiência das ações implantadas; e
- Aumento de conhecimento para melhoria dos resultados das obras no futuro.

Com a aplicação do método PDCA também foi possível analisar itens que antes eram difíceis de serem “enxergados”, conforme ilustrado na Figura 7.

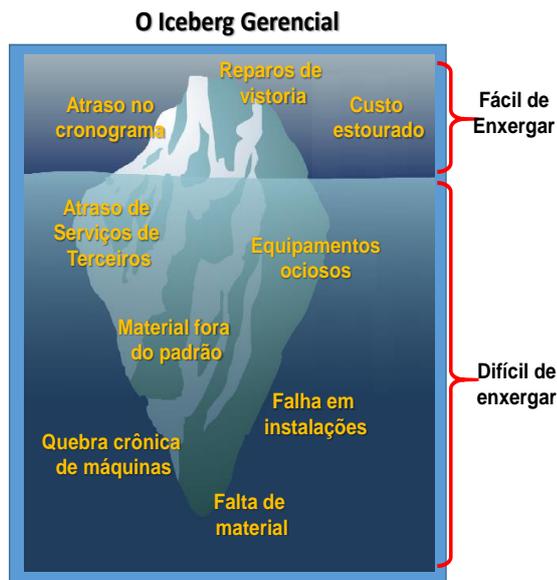
Após aplicação do PDCA na Gestão de Canteiro, a empresa pôde melhorar a comunicação por meio do ritual de gestão.

Nesse sentido, bem se definiu o planejamento e as metas, comparou-se o realizado em relação ao planejado, identificou-se os problemas que impactam no resultado, bem como suas causas, e elaborou-se e executaram-se as ações para corrigir e bloquear esses problemas.

Além disso, foram documentados e registrados os conhecimentos e melhorias para serem implantados em outras obras.

Desta maneira perseguiram-se as metas e obteve-se como resultado a obra no prazo, custo e qualidade pré-estabelecidos.

Figura 7 – Iceberg Gerencial.



Fonte: Dados Internos da Construtora (2019).

5. Considerações Finais

Continuar competitivo em tempos de crise não é uma tarefa fácil, especialmente para as empresas da indústria da construção civil, afinal este é um dos setores que mais sofre os impactos das oscilações e quedas na economia.

Nesse sentido, o método PDCA é importante para melhoria do processo construtivo das construtoras. Com a aplicação do método é possível identificar a raiz dos problemas, eliminá-la e evitar que ela ocorra novamente, para que a qualidade dos processos e do empreendimento seja maximizada.

A grande vantagem do PDCA é que ele centraliza os esforços dos gestores e dá a eles uma visão mais clara dos processos, permitindo acompanhar o andamento das obras e identificar o que precisa ser melhorado.

Dessa forma, este artigo teve como objetivo descrever a aplicação do PDCA em construtora de grande porte.

Com a pesquisa, mostra-se que a construtora em estudo buscou modificar seu processo construtivo para reduzir as falhas e

melhorar seu sistema de produção. O método PDCA foi utilizado como base conceitual para minimizar perdas e desperdícios, reduzir custos e otimizar o processo construtivo dos empreendimentos.

Como não era feito um planejamento em longo prazo de maneira apropriada, as metas eram definidas de acordo com experiências anteriores e para piorar, no canteiro estas metas não eram seguidas.

Dessa forma, com esses problemas, as produções reais ficavam bem diferentes das “previstas”.

Com a difusão do método PDCA na construtora foi possível identificar problemas, levantar as causas e montar planos de ações. Assim, foi possível fazer com que o ciclo do planejamento passasse a ser seguido (o que não ocorria anteriormente) e os resultados fossem melhorados.

Nesse sentido, este estudo demonstra como as construtoras podem pensar e agir sob a ótica do PDCA, obtendo uma visão integrada e otimização dos processos.

Para trabalhos futuros, a partir de todos os conhecimentos que foram adquiridos, durante a realização dessa pesquisa, podem-se elencar itens a serem desenvolvidos, tais como demonstrado:

- Pesquisa mais ampla sobre o tema; e
- Acompanhamento (estudo de caso) de uma construtora, que tenha objetivo de implantar o método PDCA em seu processo construtivo, desde o início da obra até a entrega da mesma.

6. Referências

- [1] C.T. Formoso, Lean Construction: Princípios Básicos e Exemplos, NORIE/UFRGS, Rio Grande do Sul, 2000.
- [2] V.O. Falconi, Verdadeiro Poder, INDG Tecnologia e Serviços Ltda., Minas Gerais, 2009.

- [3] E.A.C. Alves, O PDCA como ferramenta de gestão da rotina, XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2015.
- [4] F.F. Cardoso, A gestão da produção de vedações verticais alternativas para a mudança necessária, Seminário de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios Vedações Verticais, EPUSP-PCC, São Paulo, 1998.
- [5] C.O. Silva, R.R.S. Agostino. S.R.O Oliveira, P.F. Colto, R.O.A. Daher, Utilização do método PDCA para melhoria dos processos: um estudo de caso no carregamento de navios, Revista Espacios, 38, 27, 2017.
- [6] G. Vieira Filho, Gestão da Qualidade Total: Uma Abordagem Prática, Alínea, Campinas, 2010.
- [7] L. Antunes, A. Antonioli Filho, F.A. Calarge, A melhoria da gestão da qualidade com enfoque na assistência técnica: um estudo de caso na indústria da construção civil, XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção, 2015.
- [8] R.H. Sampieri, C.F. Collado, P.B. Lucio, Metodologia de Pesquisa, McGrall-hill Interamericana do Brasil Ltda, São Paulo, 2006.
- [9] R.K. Yin, Case Study Research: Design and Methods, 4th Ed., Thousand Oaks, CA: Sage, 2009.
- [10] A. Marconi, E.M. Lakatos, Fundamentos de Metodologia Científica, 7^a ed., Atlas, São Paulo, 2010.



Um Estudo Sistemático sobre a Incorporação de Novas Tecnologias na Pavimentação

PIMENTEL, Vitor Fernandes; ABREU, Victor Hugo Souza.

NPPG/POLI – UFRJ; PET/COPPE – UFRJ

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 01 Mai 2019

Revisão: 04 Jun 2019

Aprovação: 25 Jun 2019

Palavras- chave:

Pavimentação

Novas Tecnologias

Revisão da Literatura

Resumo:

O setor da pavimentação vem trabalhando fortemente para o desenvolvimento de novas tecnologias para melhorar a qualidade do pavimento e reduzir os impactos ambientais. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo realizar análises sistemáticas de estudos relevantes sobre o assunto, apresentando a evolução das pesquisas (publicações e citações) e os países e periódicos que mais se interessam pela temática. Além disso, é realizado um breve resumo sobre cada um dos artigos mais citados da base de dados, de modo a identificar os principais eixos de pesquisa desenvolvidos atualmente.

1. Introdução

A infraestrutura viária é fundamental para o desenvolvimento sustentável das cidades, pois é um fator chave para alcançar o crescimento econômico, a mitigação dos impactos ambientais e o bem-estar social dos habitantes das cidades [1].

O nível de qualidade das vias percebido pelo usuário é determinado, principalmente, pela avaliação do pavimento [2]. Em todo o mundo, é investido anualmente mais de 400 bilhões de dólares na construção e manutenção de pavimentos [3].

Surge, assim, a necessidade de incorporar uma abordagem sustentável na avaliação de alternativas para implantação de pavimentos que, por exemplo, utilizem menos recursos, poluam menos, apresentem melhor

comportamento mecânico, mitiguem o efeito de ilha de calor urbana ou até mesmo utilizem seu potencial de absorção de calor para transmissão de energia.

Dessa forma, constata-se a seguinte questão: qual é o estado atual das pesquisas relacionadas à aplicação de novas tecnologias na pavimentação? Portanto, este trabalho tem como objetivo geral apresentar um apanhado geral de artigos científicos aplicáveis ao assunto, por meio de Revisão Bibliográfica Sistemática, que utiliza criteriosos filtros de inclusão e qualificação de estudos.

Como objetivos específicos têm-se: (i) Apresentar a evolução das publicações e citações ao longo dos anos; (ii) Identificar os principais periódicos e países que mais publicam estudos sobre o assunto; e (iii)

Realizar um breve resumo dos artigos mais citados na base de dados.

Salienta-se ainda que é dado um enfoque aos trabalhos desenvolvidos ao longo dos últimos 10 anos, de modo a identificar o que de eficaz tem sido desenvolvido na literatura científica sobre o assunto.

Além disso, como limitação menciona-se que os artigos incluídos no repositório de pesquisa são limitados pelo banco de dados e o termo de busca utilizado.

Para cumprir seus objetivos, este estudo encontra-se assim estruturado. A Seção 1 trata da contextualização, da problemática e dos objetivos. A Seção 2 apresenta um apanhado geral sobre a incorporação de novas tecnologias no pavimento. A Seção 3 trata do procedimento metodológico utilizado para condução das buscas sistemáticas. A Seção 4 apresenta e discute os resultados. E por fim, a Seção 5 contém as considerações finais.

2. Aplicação de Novas Tecnologias no Pavimento

A qualidade dos pavimentos das rodovias é impactada por diversos fatores com método de dimensionamento antigo, problemas técnicos na execução, falhas na manutenção e na fiscalização do excesso de peso. Nesse sentido, as rodovias precisam de intervenções constantes, o que gera gastos excessivos aos órgãos públicos e às concessionárias e o aumento do impacto ambiental.

Mais de 400 bilhões de dólares são investidos globalmente a cada ano na construção e manutenção de pavimentos [3]. Estas tarefas aumentam em 10% o impacto ambiental gerado pela operação do veículo [4].

Esta situação conduz, inexoravelmente, a uma gestão sustentável dos pavimentos, que trate de questões relacionadas ao desenvolvimento econômico, social e ambiental das cidades [2].

Dessa forma, ao longo dos últimos anos, têm sido desenvolvidas pesquisas que buscam aplicar novas tecnologias para uma gestão sustentável dos pavimentos.

A produção de asfalto a quente, por exemplo, é responsável por um grande consumo de energia, devido ao aquecimento de seus componentes. Essa energia, gasta na queima de combustíveis fósseis, libera gases de efeito estufa [5,6]. Assim, novas técnicas de fabricação de misturas estão sendo desenvolvidas para diminuir a temperatura de fabricação, que permite reduzir a emissão de poluentes [7, 8, 9]. Assim, estudos com asfalto morno, por exemplo, estão evoluindo [10, 11, 12]. A produção dessas misturas asfálticas mornas ocorre entre 110° e 140° Celsius (C), permitindo assim uma redução de aproximadamente 40°C quando comparada ao asfalto de mistura quente [5, 7].

Outra aplicação de novas tecnologias refere-se ao fato dos pavimentos asfálticos poderem ser aquecidos até 70°C por irradiação solar, durante o verão, por causa de sua propriedade de absorção de calor [13, 14]. Devido a essa propriedade, o fornecimento de energia térmica para, por exemplo, estabelecimentos e edifícios adjacentes às estradas, a partir de coletores solares de asfalto, é uma aplicação potencial para geração de uma energia renovável, limpa e que respeita o meio ambiente.

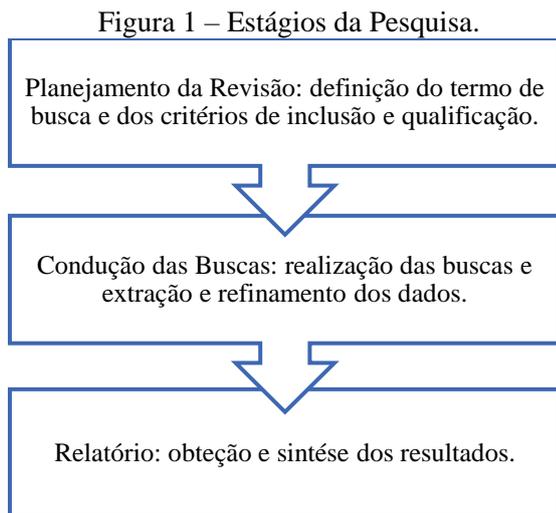
3. Procedimento Metodológico

O procedimento metodológico deste artigo adota a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para mapeamento dos principais estudos sobre a incorporação de novas tecnologias na pavimentação rodoviária.

Nos estudos em que se exige ineditismo e originalidade na sua contribuição, a revisão bibliográfica exerce papel essencial. Deste modo, proceder-se de forma sistemática e rigorosa é fundamental para confiabilidade

dos resultados, como também para o desenvolvimento do conhecimento numa base sólida a partir dele [15].

Dessa forma, com o intuito de mapear as publicações científicas mais relevantes sobre o assunto, utilizou-se a base de dados *Web of Science*. Neste contexto, a condução das pesquisas seguiu os passos apresentados na Figura 1 (adaptação de [16]).



Fonte: Adaptado de Tranfield [16].

No Estágio 1, Planejamento da Revisão, o termo de pesquisa mais adequado para coleta de dados e os critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade) foram definidos conforme segue.

Para obtenção do termo de busca utilizou-se a Ferramenta TS (Tópico) da base de dados, que representa as palavras que são pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos. Nesse sentido, por meio de testes de tópicos na base de dados considerou-se adequado, tendo em vista os objetivos da pesquisa, utilizar $TS = ("pavement*" AND "new technolog*")$ para obtenção de resultados condizentes.

Como critérios de inclusão consideraram-se: (i) Tempo de cobertura: artigos publicados nos últimos 10 anos (2010 – 2019); (ii) Tipos

de documentos: somente artigos; e (iii) Fator de impacto do periódico.

Já como critérios de qualificação observaram-se (i) Revisão bibliográfica bem fundamentada; (ii) Inovação técnica; (iii) Discussão das contribuições; (iv) Explicação das limitações; e (v) Resultados e conclusões são consistentes com os objetivos pré-estabelecidos.

Além disso, a pesquisa considerou os seguintes *índexs*: (i) SCI-EXPANDED; (ii) SSCI; (iii) A&HCI; (iv) CPCI-S; (v) CPCI-SSH; e (vi) ESCI.

No Estágio 2, Condução das Buscas, o termo escolhido juntamente com os filtros de inclusão foram introduzidos na base de dados e os artigos encontrados por eles foram extraídos e refinados (aplicação dos critérios de qualificação). No Estágio 3, Relatório, ocorreu a análise e síntese dos dados, conforme é descrita na Seção 4. Salienta-se que o *software* de mineração de dados *Vantage Point* e o *Excel* foram utilizados no Estágio 3 para refinamento dos dados e no Estágio 4 para realização das análises sistemáticas.

4. Resultados

Após a aplicação dos critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade) identificou-se que 33 publicações estavam aptas a serem incluídas no repositório da pesquisa.

Nesse sentido, as próximas subseções buscam realizar análises sistemáticas desses estudos, divididas em análises quantitativas e qualitativas.

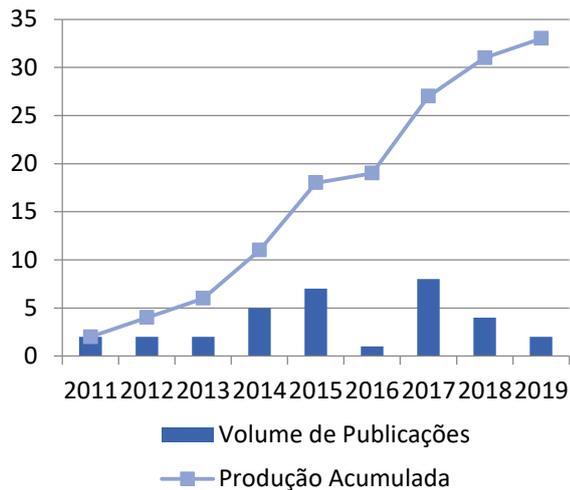
4.1 Análises quantitativas de todos os artigos

A Figura 2 mostra a evolução das publicações sobre o assunto ao longo dos anos.

Conforme identificado na Figura 2, verifica-se que com o passar dos anos o

número de publicações sobre o assunto cresceu até 2015, mas houve uma queda brusca em 2016. Em 2017, ápice de publicações, ocorreu um significativo aumento de publicações novamente. Além disso, destaca-se que a curva acumulada representa o interesse crescente sobre o tema ao longo dos anos.

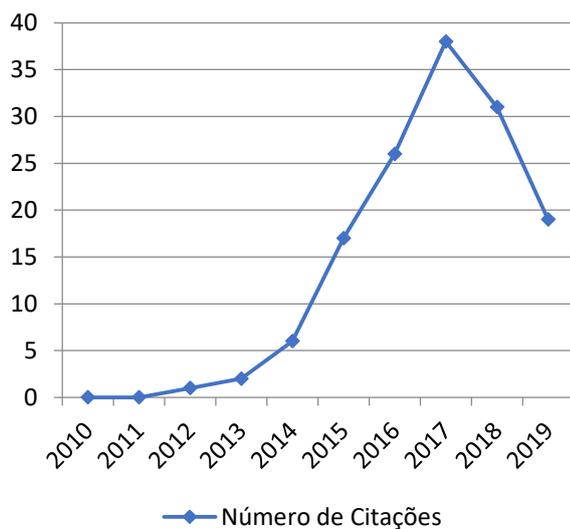
Figura 2 – Evolução das publicações por ano.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Outra análise importante refere-se ao número de citações desses artigos por ano, conforme é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Evolução das citações por ano.

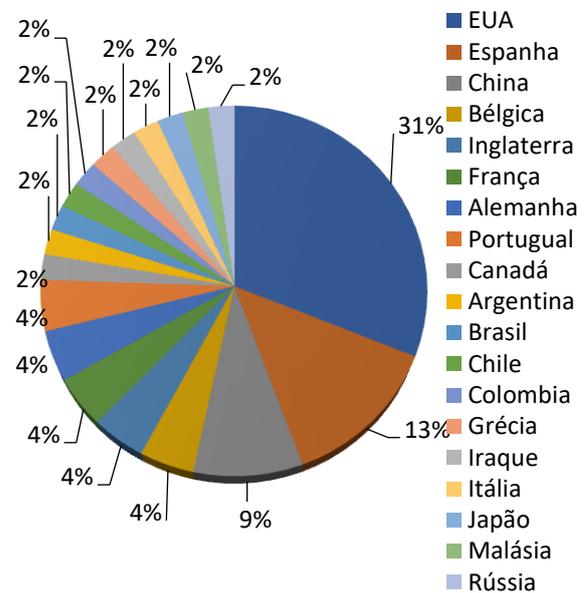


Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Figura 3, observa-se que o número de citações cresceu com o passar dos anos, atingindo o ápice mais uma vez em 2017, demonstrando o crescente interesse pelo assunto. Destaca-se ainda que, ao todo, foram identificadas 157 citações.

Também se considerou pertinente avaliar quais são os países de origem das Instituições de Ensino dos autores que mais desenvolvem artigos relevantes sobre o assunto, conforme identificado na Figura 4.

Figura 4 – Países de origem dos artigos mais relevantes sobre o assunto.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Figura 4, nota-se que os países que mais publicam estudos sobre o assunto são: EUA, com 31% das publicações, Espanha, com 13% das publicações, e China, com 9% das publicações. Identifica-se ainda que o Brasil está na oitava posição entre os países mais relevantes no mundo sobre o assunto, com 2% das publicações. Além disso, aponta-se que 19 países publicaram estudos sobre o assunto.

Torna-se também pertinente avaliar os artigos por periódico de publicação, de modo a identificar quais são as revistas que mais se interessam pelo assunto, bem como o fator de

impacto de cada uma delas. Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta os periódicos cujo volume de publicação é, no mínimo, igual a dois artigos. Menciona-se que 27 revistas científicas publicaram estudos sobre o assunto.

Tabela 1 – Principais periódicos sobre o assunto.

Periódicos de Publicação	P	FI
<i>Transportation Research Record</i>	4	0,695
<i>Applied Energy</i>	2	7,900
<i>International Journal of Pavement Engineering</i>	2	2,322
<i>Materials and Structures</i>	2	2,271

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 1, nota-se que os periódicos que com maior número de Publicações (P) são: *Transportation Research Record*, com 4 publicações, e *Applied Energy*, *International Journal of Pavement Engineering* e *Materials and Structures*, com 2 publicações cada. Salienta-se ainda que ao ordenar os periódicos por Fator de Impacto (FI), identifica-se que aqueles mais relevantes são: *Applied Energy*, *International Journal of Pavement Engineering* e *Materials and Structures*.

4.2 Análises qualitativas dos artigos mais citados na Base de Dados

Com o objetivo de identificar os estudos mais citados na base de dados *Web of Science*, a Tabela 2 apresenta os artigos com número de citações maior que dez.

Tabela 2 – Artigos mais citados na base de dados sobre novas tecnologias aplicadas aos pavimentos.

Autores	Periódico	C	MCA
[17]	<i>Applied Energy</i>	25	4,17
[18]	<i>Journal of Cleaner Production</i>	22	5,50
[2]	<i>Revista de la Construcción</i>	13	2,60
[19]	<i>Applied Energy</i>	12	4,00

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 2, constata-se que o artigo com maior número de Citações (C) é Pascual-Muñoz *et al*[17], com 25 citações, e o estudo com maior Média de Citações por Ano (MCA) é Dinis-Almeida e Afonso [18], com valor igual a 5,50. Nota-se também que os dois artigos publicados no *Applied Energy*, periódico com maior FI, estão entre os quatro artigos mais relevantes da base de dados.

Salienta-se também que o baixo número de citações totais e de média por ano pode ser explicado pelo fato da pesquisa focar em trabalhos desenvolvidos a partir de 2010, para que se pudessem obter artigos que aplicassem tecnologias atuais nos pavimentos.

A fim de salientar as principais tecnologias implementadas nos pavimentos, busca-se apresentar um breve resumo sobre cada um dos artigos mais relevantes da base de dados, conforme segue.

Pascual-Muñoz *et al*[17] apresentam uma nova tecnologia na qual um pavimento de camadas múltiplas com uma camada intermediária altamente porosa é usado em um coletor solar com uma rede de tubulação embutida. Esses coletores são totalmente integrados à infraestrutura viária e podem oferecer energia solar de baixo custo para aquecimento de água. O artigo inclui um breve comentário sobre o estado da arte. Em seguida, é apresentada uma ampla metodologia na qual os dados, materiais e procedimentos necessários para executar os testes são totalmente descritos. Finalmente, os resultados dos testes laboratoriais são declarados e discutidos. Os resultados computacionais indicam que: (i) Excelentes eficiências térmicas do coletor de asfalto multicamadas foram obtidas nos testes de laboratório. Valores de eficiência de 75% até 95% foram obtidos dependendo da irradiação da lâmpada solar, porosidade da camada intermédia e declive aplicado ao coletor; (ii) As eficiências obtidas sugerem que a adição de materiais, tal como grafite, usado para melhorar as propriedades térmicas do asfalto, não é necessária; (iii) Apesar do excelente

comportamento térmico do coletor solar, baixas taxas de fluxo do fluido de transferência de calor (água) foram alcançadas nos testes; (iv) A geometria do coletor deve ser calculada adequadamente para que o sistema possa funcionar Além disso, uma boa impermeabilidade deve ser realizada; e (v) A inclusão desses coletores solares de asfalto em áreas urbanas ou estacionamentos próximos à estrada implicaria em uma diminuição da temperatura ambiente da área e a mitigação do efeito de ilha de calor urbana.

Dinis-Almeida e Afonso [18] produzem um estudo comparativo do comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas (que emitem menos poluentes atmosféricos, conforme já mencionado na Seção 2) e de misturas asfálticas quentes convencionais. Salienta-se que foram realizados testes considerando misturas asfálticas mornas com e sem a incorporação do Pavimento Asfáltico Recuperado (PAR), que quando inserido nas misturas visa melhorar a sustentabilidade, reduzindo a produção de resíduos e o consumo de recursos naturais. Inicialmente, o teor ideal de betume para cada mistura foi determinado e as propriedades fundamentais foram calculadas. Foram realizados testes de: (i) Rigidez por tensão indireta para corpos de prova cilíndricos; (ii) Sensibilidade à água; e (iii) Resistência à fadiga por teste de flexão de quatro pontos em corpos de prova prismáticos. Os resultados confirmaram que as misturas quentes convencionais apresentam um módulo de rigidez maior do que as misturas asfálticas mornas e que a incorporação do PAR nas misturas mornas aumenta o módulo de rigidez, devido à presença do betume envelhecido que tem menor penetração. Além disso, a sensibilidade à água no asfalto morno e da mistura quente é a mesma. No entanto, este teste foi insuficiente para avaliar a sensibilidade da mistura morna com PAR. Destaca-se ainda que a resistência à fadiga da mistura asfáltica com e sem PAR é ligeiramente menor que as

misturas quentes. As descobertas confirmaram as vantagens ambientais (redução da emissão de poluentes) e demonstraram bom desempenho mecânico do asfalto morno em comparação com misturas quentes convencionais.

Torres-Machi *et al*[2] examinam os modelos e práticas para a avaliação econômica e ambiental da gestão dos pavimentos, a fim de analisar as vantagens e limitações do estado atual e identificar as oportunidades para melhorar sua gestão sustentável. Os resultados indicam que: (i) A gestão sustentável do pavimento exige a consideração de aspectos técnicos, econômicos, ambientais e aspectos sociais ao longo do ciclo de vida; (ii) A avaliação econômica aplicada à gestão de pavimentos necessita da avaliação de benefícios que são difíceis de rentabilizar; (iii) Os efeitos em usuários diretos durante a operação normal podem ser avaliados sem necessidade de quantificação monetária da área abaixo da curva de desempenho; (iv) Dois tipos de análises são detectadas para avaliação de pavimentos: uma baseada na norma ISO 14040 e outra na certificação ambiental. A primeira fornece uma avaliação mais precisa, mas requer um grande número de dados. A segunda, mais intuitiva e fácil de assimilar por agentes menos especializados, não se baseia indicadores de desempenho; e (v) Apenas dois dos modelos revisados, HDM-4 e PALATE, incorporam análises econômico-ambientais na avaliação de alternativas. No entanto, o HDM-4 não faz uso de materiais reciclados ou novas tecnologias, enquanto PALATE não considera o efeito sobre os usuários na avaliação econômica.

Guldentops *et al*[19] desenvolvem um modelo para o sistema de captação solar do pavimento e validaram-no com um experimento autoinstruído. Tal modelo permite um estudo paramétrico detalhado do sistema para otimizar o projeto, bem como realiza uma investigação sobre o efeito do envelhecimento (por exemplo, diminuição da

capacidade de absorção solar) no desempenho do sistema. Os resultados mostram que o modelo desenvolvido é realista devido à quantidade limitada de simplificações incorporadas. As únicas simplificações aplicadas ao modelo são: (i) Contato perfeito entre diferentes materiais; (ii) Materiais de pavimento homogêneos e isotrópicos; (iii) Água pura como fluido de trabalho; e (iv) Nenhuma influência do campo de fluxo de fluido pela troca de calor. Um experimento foi realizado para validar o modelo. Os dados experimentais e a estrutura de modelagem estão de acordo com as temperaturas de saída de fluido e as temperaturas do pavimento. O modelo pode, portanto, ser usado para avaliar benefícios do sistema na vida útil do pavimento e para ajudar a uso da energia térmica gerada. A estrutura de modelagem é usada para conduzir um estudo paramétrico sobre a influência dos parâmetros meteorológicos. O estudo paramétrico ajuda a entender a influência de parâmetros mais importantes no desempenho do sistema: (i) A condutividade térmica do concreto asfáltico; (ii) A absorvidade solar da superfície do pavimento ; e (iii) A profundidade do tubo. Por fim, menciona-se que os resultados podem ser utilizados para investigar a viabilidade do sistema e de melhorias potenciais que podem ser realizadas.

5. Considerações Finais

Identificada a necessidade de realização de pesquisas sobre a incorporação de novas tecnologias na pavimentação de vias, este estudo teve como objetivo verificar na literatura internacional o que de sólido e eficaz tem sido desenvolvido a respeito do assunto, por meio de Revisão Bibliográfica Sistemática.

Os resultados quantitativos constataram que o assunto continua em expansão com ápice no número de publicações e de citações em 2017, que os países que mais publicam estudos são: EUA; Espanha; e China, e que

importantes periódicos como o *Applied Energy*, que apresenta FI aproximadamente igual a oito, se interessam por essa temática.

Os resultados qualitativos focaram-se nos quatro artigos mais citados na base de dados, desenvolvidos a partir de 2010. Nesses estudos, identificaram-se os seguintes temas de pesquisa: (i) Uma nova tecnologia na qual um pavimento de camadas múltiplas com uma camada intermediária altamente porosa é utilizado em um coletor solar com uma rede de tubulação embutida; (ii) Um estudo comparativo do comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas (com e sem a incorporação do pavimento asfáltico recuperado) e de misturas asfálticas quentes convencionais; (iii) Uma avaliação sobre modelos e práticas para a análise econômica e ambiental da gestão dos pavimentos; e (iv) Um modelo para o sistema de captação do solar pavimento.

Como propostas de melhorias, aconselham-se que sejam realizadas novas pesquisas, tanto bibliográficas, que considerem outras bases de dados e outros termos de pesquisa, quanto de aplicação sobre a incorporação de novas tecnologias para alcance de uma gestão sustentável de pavimentos, de modo a reduzir os impactos gerados por sua má conservação.

6. Referências

- [1] W. Uddin, R. C. G. Hudson, & R. C. G. Haas, Public infrastructure asset management. New York: McGraw-Hill Education, 2013.
- [2] C. Torres-Machi, A. Chamorro, V. Yepes, E. Pellicer, Current models and practices of economic and environmental evaluation for sustainable network-level pavement management, *Revista de La Construcción*, 13, (2), 49–56, 2014.
- [3] IRF (International Road Federation), IRF World Road Statistics 2010, Geneva: International Road Federation, 2010.

- [4] M. V. Chester, A. Horvath, Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains, *Environmental Research Letters*, 4, (2), 2009.
- [5] T. Carvalho, L. P. Barreno, Ligantes Betuminosos Temperados. In: VII Congresso Rodoviário Português e Novos desafios para a atividade rodoviária, Lisboa, Portugal, 2013.
- [6] M.C. Rubio, F. Moreno, M. J. Martínez-Echevarría, G. Martínez, J. M Vazquez, Comparative analysis of emissions from the manufacture and use of hot and half-warm mix asphalt, *J. Clean. Prod*, 41, 1–6, 2013.
- [7] S. D. Capitão, L. G. Picado-Santos, F. Martinho, F., Pavement engineering materials: review on the use of warm-mix asphalt, *Constr. Build. Mater*, 36, 1016–1024, 2012.
- [8] J. D'Angelo, E. Harm, J. Bartoszek, G. Baumgardner, M. Corrigan, J. Cowser, T. Harman, M. Jamshidi, W. Jones, D. Newcomb, B. Prowell, R. Sines, B. Yeaton, *Warm-mix Asphalt: Europe Practice*, Federal Highway Administration, Alexandria, 2008.
- [9] J. R. M. Oliveira, H. M. R. D. Silva, L. P. F. Abreu, S. R. M. Fernandes, Use of a warm mix asphalt additive to reduce the production temperatures and to improve the performance of asphalt rubber mixtures, *J. Clean. Prod*, 41, 15–22, 2013.
- [10] B. Kheradmand, R. Muniandy, L. T. Hua, R. Yunus, A. Solouki, An overview of the emerging warm mix asphalt technology, *Int. J. Pavement Eng.*, 15, (1), 79–94, 2014.
- [11] B. Prowell, G. Hurley, B. Frank, *Warm-mix Asphalt: Best Practices*, second ed. National Asphalt Pavement Association, Quality Improvement Publication, 125, 2008.
- [12] M. C. Rubio, G. Martínez, L. Baena, F. Moreno, Warm mix asphalt: an overview, *J. Clean. Prod.*, 24, 76–84, 2012.
- [13] S. Wu, Y. Xue, Q. Ye, Y. Chen, Utilization of steel slag as aggregates for stone mastic asphalt (SMA) mixtures, *Build Environ*, 42, (7), 2580–5, 2007.
- [14] M. A. Al-Saad, B. A. Jubran, N. A. Abu-Faris, Development and testing of concrete solar collectors, *Sol Energy*, 16, 27–40, 1994.
- [15] J. Webster, J. T. Watson, Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review, *MIS Quarterly & The Society for Information Management*, 26, 2, 13-23, 2002.
- [16] D. Tranfield, D. Denyer, P. Smart, Towards a methodology for developing evidence informed management knowledge by means of systematic review, *British Journal of Management*, , 14, (3), 207–222, 2003.
- [17] P. Pascual-Muñoz, D. Castro-Fresno, P. Serrano-Bravo, A. Alonso-Estébanez, A Thermal and hydraulic analysis of multilayered asphalt pavements as active solar collectors, *Applied Energy*, 111, 324–332, 2013.
- [18] M. Dinis-Almeida, M. L. Afonso, Warm Mix Recycled Asphalt – a sustainable solution, *Journal of Cleaner Production*, 107, 310–316, 2015.
- [19] G. Guldentops, A. M. Nejad, C. Vuye, W. Van den bergh, N. Rahbar, Performance of a pavement solar energy collector: Model development and validation, *Applied Energy*, 163, 180–189, 2016.



Gerenciamento e Utilização de Resíduos da Construção Civil na Produção De Concreto

TERRA, Júlia Cristina Alves

Pós-graduanda em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civis, NPPG/POLI – UFRJ

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 02 Jun 2019

Revisão: 04 Jun 2019

Aprovação: 02 Jul 2019

Palavras-chave:

Concreto

Entulho

Resíduos

Resumo:

No Brasil, a engenharia civil vem avançando na utilização de diferentes tecnologias de novos materiais e de modernos métodos construtivos, mostrando-se um dos setores mais significativos e influentes na política ambiental e econômica do país. Para realizar melhorias contínuas é necessário gerir com o intuito de viabilizar uma gestão de projeto eficaz, mas pouco se debateu sobre o descarte, o controle e a reutilização do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) ou entulho gerado nas construções, reformas ou demolições. A utilização de RCD, ou, de modo mais simplificado, dos entulhos de construção civil como agregados comuns (brita e areia), vem da necessidade de uma política econômica e de sustentabilidade ambiental para reutilização de materiais descartados ao invés da utilização de novos materiais. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo evidenciar a importância da gestão dos resíduos na construção civil considerando suas classificações conforme a resolução 307 do CONAMA, gerando economia ao empreendimento segregando corretamente. Além disto, o artigo vem reforçar resultados alcançados em trabalhos anteriores onde mostram que o uso do entulho como agregado é viável.

1. Introdução

A construção civil é responsável por boa parte da poluição, tanto física como visual e pela falta de competência no gerenciamento de resíduos sólidos, pois estes muitas vezes, são descartados sem nenhum controle ou critério em terrenos baldios, beiras de ruas, margens de rios e de córregos, gerando poluição e servindo como abrigo para vetores de doenças.

O entulho muitas vezes é gerado por deficiências no processo da construção, como falta de projetos, falhas na sua execução, má qualidade dos materiais empregados, perdas

no transporte e armazenamento, má manipulação por parte da mão de obra, além da substituição de componentes pela reforma ou reconstrução [1].

Resíduos da construção civil (RCC) ou Resíduos de Construção e Demolição (RCD), consistem em um conjunto de tijolos, concreto, argamassa, aço, madeira e outros provenientes do desperdício na construção, reformas ou demolição das estruturas, conforme resolução [2].

Neste artigo, a classe designada “A” pela resolução [2] será destacada como objeto de estudo, mas, evidenciando-se, também, a alta

empregabilidade das outras classes como material reciclado a ser utilizado, tanto na construção civil quanto em outras áreas.

Os resíduos da construção civil podem chegar a 61% do volume de resíduos sólidos urbanos no Brasil [3]. A resolução [2] diz que o gerador é responsável por seus resíduos, cabendo ao mesmo a disposição final ou reciclagem.

Segundo Levy [4], estima-se que as porcentagens são de 38% para demolições, 29% para limpeza de terrenos, 15% para escavações, 11% para novas construções e 7% para obras rodoviárias compõem o total de entulho no país.

É certo se afirmar que reciclar economicamente mais barato do que descartar. Segundo a Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição, (ABRECON) [5], o custo de material reciclado chega a ser 20% a 30% menor do que o material proveniente de pedreiras.

Diante do crescimento urbano desenfreado, as construções, as reformas e as demolições para novos empreendimentos mostram, cada vez mais, a necessidade de se adequarem ao modo de sustentabilidade e à realidade da atual legislação econômica do país.

A quantidade de entulho gerado por empresas construtoras, ou mesmo por pessoas físicas, é enorme e o custo para o descarte correto é grande, já que cada vez mais os locais apropriados, além de já estarem saturados, ficam cada vez mais distantes dos locais onde o entulho é gerado. Sendo assim, o bota fora e a movimentação de terra acabam onerando ainda mais as despesas no custo total da obra.

Já há uma vasta aplicabilidade de entulho reciclado da construção civil, em obras de terraplanagem, drenagem, reforço de leito e subleito, pavimentação de estacionamentos e pátios, construção de calçadas e meio fios e fabricação de artefatos de concreto.

Com as novas tecnologias para reciclagem, pode-se aplicar, como agregado miúdo e graúdo, os materiais descartados de demolições, após o trituração e o peneiramento, determinar a granulometria, a massa específica, o traço da mistura água, cimento e agregados, a fim de se avaliar se o concreto, assim obtido de material reciclado atende as necessidades das obras de menor e, também, as de maior importância nos quesitos de durabilidade e resistência dos elementos estruturais.

Quando não se descarta corretamente os resíduos gerados, ou seja, quando se utilizam locais impróprios como ruas, terrenos baldios e beiras de rio, o impacto gerado é não só financeiro pelo custo de transporte, mas também ambiental por infringir a legislação ser causador de problemas ecológicos e sanitários ao ambiente e à população.

2. Tipos de RCC

A resolução CONAMA nº 307 [6] define os resíduos da construção civil como materiais provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Os resíduos de construção civil são apontados em quatro classes distintas, são elas:

Classe A: abrange resíduos que podem ser reutilizáveis ou recicláveis como agregados, e que podem futuramente ser reinseridos no processo produtivo da própria obra. São eles derivados de:

- Pavimentação e infraestrutura: blocos de concreto, cerâmicas, argamassas e semelhantes;

— Edificações: tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos, argamassa, concretos, dentre outros;

— Processos de fabricação ou demolições: tubulações, fiação elétrica, resinas, colas, tinturas.

Classe B: abrange resíduos que podem ser recicláveis para outras destinações, ou seja, a sua reutilização será possível fora do processo produtivo das construções. São eles: plásticos, metais, papel, papelão, vidro, madeira, gesso, dentre outros.

Classe C: abrange resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.

Classe D: abrange resíduos potencialmente perigosos/nocivos não somente ao ser humano como também ao meio ambiente. São eles: tinta, solventes, óleos, amianto, reparos de clínicas radiológicas de acordo com Mendes e Oliveira [7].

De acordo com Lima e Lima [8], o processo de identificação e caracterização dos resíduos é de suma importância para tomar ciência da natureza do material que estamos trabalhando e quantificá-los, sendo assim possível um planejamento adequado, contribuindo fortemente com a redução, reutilização, reciclagem e escolha adequada na destinação final.

A Organização Mundial da Saúde em sua Convenção n° 162 da Organização Internacional do Trabalho (OIT); o Critério Saúde Ambiental n° 203 de 1998 [9] definiu que a exposição ao amianto aumenta o risco de asbestos e, câncer de pulmão, dentre outros danos à saúde do trabalhador em relação à dose, não havendo um limiar de tolerância para os riscos de câncer. Assim, a resolução do CONAMA n° 348 de 2004 [10], inclui o amianto em pó (asbesto) como resíduo de classe D devido a sua periculosidade.

2.1. Gerenciamento do RCD

Deve-se priorizar sempre a redução da geração de resíduos na fonte. No entanto, quando existir a geração dos resíduos, deve-se buscar a reutilização ou a reciclagem. Somente quando não existir possibilidade de reciclá-los é que os resíduos devem ser incinerados (com recuperação de energia) ou aterrados.

A parcela que o entulho representa no total de Resíduos Sólidos Urbanos gerados diariamente nas áreas urbanas existentes em todo o planeta, torna necessário o estabelecimento de um modelo de gerenciamento sustentável para esses resíduos.

No Brasil, é comum a disposição irregular de entulho e, por este motivo, esses resíduos são considerados como sendo um problema de limpeza pública, acarretando uma série de inconvenientes para toda a sociedade, tais como: altos custos para o sistema de limpeza urbana, saúde pública (ex.: dengue), enchentes, assoreamento e contaminação de cursos d'água, contaminação de solo, erosão, obstrução de sistemas de drenagem urbanos, etc.

Por esta razão, o poder público deve estimular a reciclagem, considerando-se o potencial que existe em produzir novos materiais/produtos a partir dos resíduos sólidos oriundos da indústria da construção. Um processo de reciclagem de qualidade requer um resíduo de qualidade, o que implica segregar os resíduos junto à fonte geradora, ou seja, nos próprios canteiros de obra.

Para que este ciclo da reciclagem se estabeleça, é fundamental que o construtor/gerador tenha consciência da importância do seu papel neste processo. Primeiro, com relação à adoção de uma postura racional e criativa, que facilite a evolução das técnicas construtivas e de gestão de recursos humanos, viabilizando assim a redução de diferentes formas de desperdício. Segundo, com relação à segregação dos resíduos nos canteiros de obra, o que permite

assegurar uma maior qualidade dos resíduos e reduzir custos de beneficiamento, fortalecendo o processo de produção de materiais reciclados.

O grande volume de resíduos produzidos diariamente tornou-se um dos principais problemas das administrações municipais. As prefeituras precisam gerenciar estes resíduos adequadamente para que não acarretem problemas ambientais, sanitários, sociais e econômicos vindo a afetar a população. Na grande maioria dos municípios, a maior parte desse resíduo é depositada em bota-fora clandestino, nas margens de rios e córregos ou em terrenos baldios. A deposição irregular de entulho, ocasiona proliferação de vetores de doenças, entupimento de galerias e bueiros, assoreamento de córregos e rios, contaminação de águas superficiais e poluição visual. A gestão dos resíduos é um serviço público de caráter coletivo, cabendo ao Estado os papéis de definidor de política, regulador e controlador. Já a prestação dos serviços não é necessariamente uma atribuição do Estado e esta pode ser realizada por empresas contratadas ou pela comunidade organizada. Do ponto de vista do usuário destes serviços, interessa que estes tenham custos baixos e qualidade adequada [11].

O processo de planejamento tem com o objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente corretos dos resíduos, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solos, rochas, resinas, tintas, madeiras, compensados, argamassa, gesso, pavimento asfáltico, tubulações, plásticos, vidros, metais, entre outros, comumente chamados de entulhos de obras. Não há controle na destinação final do lixo da construção civil. Quase sempre, esse entulho é retirado das obras e despejado de forma clandestina em terrenos baldios, nas margens dos rios e nas periferias dos grandes centros urbanos. O grande fantasma que impede a reciclagem de todo esse entulho é a alta carga tributária.

A gestão de resíduos tem como consequência levar menos resíduos (lixo) aos

aterros, fazendo com que eles tenham uma maior vida útil, além de reduzir o potencial risco de contaminação do solo e das águas e conservar os recursos naturais, entre outros benefícios.

O PGRCC indica a destinação conforme a classificação de resíduos definida pela Resolução CONAMA nº 307/2002 e alterações. A segregação dos resíduos de construção civil deve ser feita na própria obra sob responsabilidade do gerador, que deve garantir o adequado manejo nas etapas de geração, acondicionamento, transporte, transbordo, tratamento, reciclagem, destinação e disposição final.

2.2. Caracterização dos Resíduos

A fase da caracterização dos resíduos é particularmente importante no sentido de se identificar e quantificar os resíduos e desta forma planejar qualitativa e quantitativamente a redução, reutilização, reciclagem e a destinação final dos mesmos.

A identificação prévia e caracterização dos resíduos a serem gerados no canteiro de obras são fundamentais no processo de reaproveitamento dos mesmos, pois esse conhecimento leva a se pensar maneiras mais racionais de se reutilizar e/ou reciclar o material.

2.3. Remoção dos Resíduos do Canteiro – Transporte Externo

A coleta e remoção dos resíduos do canteiro de obras devem ser controladas através do preenchimento do Sistema de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) DZ-1310.R-7 através da plataforma online do Instituto Estadual do Ambiente - INEA, contendo dados do gerador, tipo e quantidade de resíduos, dados do transportador e dados do local de disposição final dos resíduos.

O gerador deve guardar uma via deste documento assinado pelo transportador e destinatário dos resíduos, pois será sua garantia de que destinou adequadamente seus resíduos.

Devem ser contratadas empresas

licenciadas pelo órgão competente do Rio de Janeiro, o INEA – Instituto Estadual do Ambiente para a realização do transporte, bem como para a destinação dos resíduos.

Os principais tipos de veículos utilizados para a remoção dos resíduos são caminhões com equipamento poli guindaste ou caminhões com caçamba basculante que deverão sempre ser cobertos com lona, para evitar o derramamento ou transbordo em vias públicas.

3. Educação Ambiental Continuada

Para se alcançar resultados satisfatórios no gerenciamento dos resíduos é importante que toda a equipe envolvida nos processos tenha domínio técnico e entenda quanto à necessidade de seguir os protocolos e executar corretamente as práticas envolvidas.

É importante os colaboradores tratem diretamente com os trabalhos operacionais e estratégicos da obra e tenham constantemente treinamentos de educação continuada.

Ações como assistir vídeos educativos, participação em palestra, oficinas, a abordagem sobre responsabilidade socioambiental e processos de reutilização e reciclagem de materiais auxiliam muito no exercício de gerenciamento consciente Vieira et. al. [12].

Silva et.al. [13] ressalta que essa sensibilização e mobilização educação ambiental dos operários da construção civil, desencadeiam uma maior precaução do colaborador e reduzem os possíveis erros de planejamento nas etapas do gerenciamento (segregação, acondicionamento, transporte e destino final dos resíduos). Além do mais, todo o aproveitamento educacional adquirido não se restringe somente ao ambiente de trabalho, mas é estendido ao seu dia a dia.

A sociedade tem um papel importante no que diz respeito sobre sustentabilidade, e por essa razão Schenini [14] disse que “o poder público deve promover o desenvolvimento de uma consciência conservacionista, através de

inclusão da educação ambiental como matéria multidisciplinar em todos os níveis de educação formal e estimular sua inclusão nos cursos gerenciamento comercial e de engenharia”.

4. RCD como Agregado no Concreto

O grande volume de material oriundo da construção e demolição civil desperta a preocupação com o impacto ao meio ambiente no que se diz a respeito da extração de novos minérios assim como a destinação final do resíduo, custo e prejuízo para o gerador [15] Uma das soluções para utilização de resíduo proveniente da construção e demolição, especificamente o da classe A, pode ser a utilização do mesmo como agregado graúdo e miúdo no preparo de diferentes tipos de concreto.

No Brasil as usinas de reciclagem da construção civil adotaram o sistema de classificação do resíduo a ser reaproveitado como: cinza e vermelho. Sendo o primeiro proveniente de material com alta concentração de cimento na sua composição, e o segundo com alta concentração de material cerâmico. Dependendo da sua classificação se tem o emprego do agregado para determinada finalidade, como por exemplo, material cerâmico se obtém agregado para a indústria e obras de pavimentação, bases e sub-bases, nivelamento, drenagem. O cinza no emprego de calçadas, peças pré-moldadas de baixa complexidade, concretos para diversos fins não estruturais [16].

Segundo Lima [17], os diferentes tipos de agregados obtidos após o processo de beneficiamento do resíduo se dão pelos diferentes métodos de britagem empregados para suas granulometrias, composição do resíduo, grau de contaminação e tipo de processo de descarte para seleção do material na obra ou demolição. Esses fatores vão determinar as possíveis aplicações dos agregados gerados.

Ainda segundo Lima [17], as principais diferenças do agregado reciclado para o natural se dão por:

Maior absorção de água dos grãos;

- Heterogeneidade na composição;
- Menor resistência mecânica dos grãos.

Os agregados resultantes da fase de moagem e demais beneficiamentos para um material limpo e com relativo grau de semelhança em diâmetro, são parte de uma mistura de agregado miúdo e agregado graúdo [20].

Kang *et al.* [18], no estudo de utilizar concreto com resíduos da construção civil reciclados para fins estruturais, elaboram testes de compressão com vigas de concreto armado submetidos à flexão de 27 a 54MPa. Em sua composição possuía agregados reciclados variando de 15% a 50%, os quais possuíam massa específica dentro do padrão e semelhante ao agregado normal. Verificou se a diminuição da resistência à compressão, da tração indireta e redução da ductilidade das vigas em estudo. Após esses testes adotaram em 30% do total de agregados reciclado à composição do concreto estrutural.

Segundo Lima [19], apesar das características dos agregados reciclados variarem e a partir disso o seu uso em concreto também o fazê-lo variar em comparação aos concretos usuais, pode se ter uma vasta utilização até mesmo em obras de responsabilidade estrutural, desde que haja um controle do tipo de resíduo, da classe pertencente, extinção dos contaminantes, qualidade e correta aplicabilidade segundo os procedimentos de segurança e as normas regulamentadoras. Os agregados reciclados podem ser divididos em três categorias definidos pelas seguintes aplicações:

Tipo I – agregados reciclados graúdos provenientes de resíduos de alvenaria. Podem ser utilizados em concretos cuja resistência característica à compressão é avaliada entre 16 a 20 MPa, com controle à classe de exposição da norma ENV 206 (durabilidade).

Tipo II – agregados reciclados graúdos provenientes de resíduos de concreto. O emprego é limitado em concretos com resistência característica à compressão de 50 a 60 MPa, sem comprometimento em função da classe de exposição, porém com controles de cloretos e ciclos de ação gelo-degelo.

Tipo III – mistura de agregados reciclados (no máximo 10 % em massa de agregados de alvenaria) e agregados naturais (porcentagem mínima é de 80 % em massa). Neste caso, sem limite de resistência e classe, apenas controles de cloretos e ação gelo-degelo.

De acordo com a norma regulamentadora holandesa, NEN 6720, é permitido até 20% do total dos agregados graúdos naturais por agregados reciclados de concreto. Para agregados reciclados de alvenaria, a taxa de substituição é de no máximo 10% Buttler [20].

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1, (NBR 7211:2005)

Consistem em agregado cujos grãos passam abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com pelas ABNT NBR NM ISO 3310-1, (NBR 7211:2005)

5. Considerações Finais

O RCD tem impacto direto não só no meio ambiente, mas como também economicamente. A geração destes pode significar impacto ambiental negativo como contaminantes, foco de vetores e causadores de mudanças geográficas do local onde fora a deposição ou impacto positivo através do reuso de maneira inteligente e integrada com as necessidades das empresas e da sociedade.

Pode se dizer sobre a política de reciclagem que atualmente está em vigor no Brasil foi bem planejada e se respeitada e implementada pelas empresas não importando o tamanho e também pela sociedade como parte interessada acerca do assunto, atenderá bem ao conceito de sustentabilidade, o qual visa progredir e ao mesmo tempo minimizar ao máximo as agressões ao meio ambiente.

Embora tenha se leis que regulam todo o processo de reciclagem, como CONAMA, PNRS, assim como planos diretores estaduais e municipais que vão desde o gerador até o beneficiamento final do produto reciclado ou descarte do mesmo se não houver processo conhecido para reaproveitamento, fato é que ainda falta alguns passos a se avançar nesse sentido de mentalidade de crescer de maneira auto sustentável e faltam incentivos da parte do governo para isso, a começar em se educar a população e empresas da importância de se ter a consciência de reciclagem, assim como insumos para se desenvolver novas práticas e incentivar novas empresas de reciclagem. Hoje ainda não se tem um olhar do governo para motivar novos negócios do ramo da construção civil de produzir material reciclado, algumas prefeituras já têm essa consciência, mas ainda são poucas dentro do universo amostral do Brasil.

Em respeito diretamente ao objeto de estudo verificou se que as variáveis são muitas, as quais influenciam no resultado do concreto reciclado, e que o desafio é se produzir um material que atenda em custo desde processo de beneficiamento até o momento da utilização do traço, pois dependendo da qualidade dos agregados, relação água cimento, taxa de absorção que influencia na fluência e retração, vão mostrar um concreto viável economicamente ou não e também da resistência que depende diretamente desses fatores já citados, a qual mostrará a viabilidade técnica de uso para certas condições.

Em outras obras verificou se que o agregado reciclado pode ser utilizado para diversos fins. O ideal é realizar diversos

estudos mais profundos com diferentes agregados e taxas de porcentagens na substituição dos agregados convencionais visando abranger a maioria das situações de custo e resistência dos concretos reciclados para se ter uma ideia prévia das utilidades desse concreto em situações do dia a dia na construção civil.

Ficou constatado, assim como em diversas obras que a quando se utiliza peças de alta resistência e sem níveis altos de contaminação, o agregado proveniente dessas peças se mostram muito resistentes e com baixo nível de absorção de água e somado a isso, na confecção de novo concreto, conseguindo se chegar em uma boa relação água/cimento, a qual não aumente o custo em relação ao convencional, alcançará níveis até superiores em relação a resistência do concreto atendendo assim a viabilidade técnica. Em relação ao concreto reciclado do estudo, para efeitos práticos de aplicação atende, por exemplo, obras de pavimentação de calçadas que exigem uma resistência de 25Mpa e necessita de um grande volume de concreto.

6. Referências

- [1] PETRUCCI JR, R. P. Soluções de planejamento e gestão ambiental para resíduos sólidos da construção civil – Monografia, UFP, Maringá, 2010.
- [2] CONAMA, Resolução N° 307, de 5 de julho de 2002. "Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil". Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002.
- [3] PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. Manejo e gestão de resíduos da construção civil - Monografia, 2005.
- [4] LEVY, S, M.; HELENE, P.R.L. Reciclagem de entulhos na construção civil e a solução política e ecologicamente correta. In: Simpósio

- Brasileiro de Tecnologias de Argamassa, 1º, Goiânia, 1995.
- [5] ABRECON. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. <<https://abrecon.org.br/>> - 2017.
- [6] CONAMA, Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002. "Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil". Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002.
- [7] OLIVEIRA. E. G., Mendes. O Gerenciamento De Resíduos Da Construção Civil E Demolição: Estudo De Caso Da Resolução 307 Do CONAMA, 2008;
- [8] LIMA, Rosimeire Suzuki; LIMA, Ruy Reynaldo Rosa. Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, CREA/PR –Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura do Paraná 2009;
- [9] Convenção nº 162 da OIT; o Critério Saúde Ambiental nº 203 de 1998 da OMS;
- [10] Resolução CONAMA nº348 de 16 de agosto de 2004;
- [11] SCHNEIDER, D. M.; OLIVEIRA, A. C., DIAS, A. S. Tratamento e destinação de lixo na cidade de São Paulo – Monografia, 1999.
- [12] VIEIRA, Rodolfo Fernando Carvalho; Oliveira, Tatiane Emanuele Britode; Nobrega, Luana Vanessa de Carvalho; Celestino, Joyce Elanne Mateus - Gerenciamento De Resíduos Da Construção Civil: Elaboração De Um Plano Para Uma Empresa Localizada Na Região Metropolitana De Natal - Rn, 2014.
- [13] SILVA, Otavio Henrique Da; Umada, Murilo Keith; Polastri, Paula; Neto, Generoso De Angelis; De Angelis, Bruno Luiz Domingos e Miotto, José Luiz -Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil, 2015;
- [14] SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. Z.; CARDOSO, A. C. F. -Gestão de Resíduos da Construção Civil, 2004;
- [15] CARDOSO, Francisco Ferreira; ARAUJO, Viviane Miranda. Levantamento do estado da arte: Canteiro de obras. São Paulo: Projeto Finep 2386/04 - 2007.
- [16] ÂNGULO, S. C. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos – Doutorado, 2005.
- [17] LIMA, J. A. R. Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – Mestrado, 1999.
- [18] KANG, T. H. K.; KIM, W.; KWAK, Y. K.; HONG, S. G. Flexural Testing of Reinforced Concrete Beams with Recycled Concrete Aggregates. ACI Structural Journal - 2014.
- [19] LIMA, J. A. R. Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – Mestrado, 1999.
- [20] BUTTLER, A. M. Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados - Mestrado, 2003.



O uso do sistema Steel Frame como alternativa para melhor produtividade na Construção Civil

PRATES, Bruno Teixeira e CONFORTE, Marcio Escobar

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Fundão

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 02 Jun 2019

Revisão: 13 Jun 2019

Aprovação: 28 Jun 2019

Palavras-chave:

Light Stell Frame;

LSF;

Custo;

Eficiência.

Resumo:

A crise na construção levou o setor a uma grande quantidade de demissões, mas isto pode ter servido como alavanca para o seguimento encontrar processos de melhoria na produtividade, tornando os canteiros mais enxutos. A escolha de sistemas construtivos, materiais e equipamentos, como o Light Stell Frame (LSF), geram impactos no custo e tempo de execução da construção de forma que, mesmo que o custo direto com estes insumos seja maior por se tratarem de tecnologias pouco difundidas, os custos pela diminuição do tempo de obra e fatores administrativos tornam esta tecnologia viável. Desta forma, o objetivo do presente artigo é fazer uma análise comparativa entre os custos construtivos da utilização da alvenaria tradicional e com o uso do Stell Frame, apresentando suas vantagens e desvantagens. Neste sentido será utilizado como estudo de caso a construção de um conjunto de casas populares licitado em São Paulo, esta, alinhada com as necessidades atuais da sociedade: curto prazo, eficiência e redução de impacto ambiental.

1 Introdução

Atualmente, no Brasil, vários setores produtivos passam por dificuldades econômicas tornando inviável suas operações, causando desemprego e instabilidade na economia, entre eles o de construção civil.

Além dos problemas sócio-políticos que o país enfrenta, estes fatores são agravados por alguns motivos como: pouco avanço tecnológico nas metodologias de operação em geral e desinteresse/informação sobre novas tecnologias. No setor de construção civil, tanto por parte do construtor como quanto pelo cliente final, ainda há bastante resistência em deixar de trabalhar com os métodos

tradicionais, muitas das vezes por medo de inovar em seu investimento.

Uma destas metodologias construtivas, que gradativamente está conquistando espaço e mercado no Brasil é o Light Stell Frame (LSF) ou apenas Stell Frame. Em outros países a diferença de nome se dá devido a espessura dos perfis utilizados, onde o LSF utiliza-se de perfis de aço leve e o Steel Frame de aço pesado. No Brasil os nomes se “confundiram”, pois, se tornou popular denominar como Stell Frame às construções que se utilizam perfis de aço leve também.

Desta forma, o Steel Frame é um sistema construtivo racional constituído de perfis

leves de aço galvanizado, que formam paredes estruturais e não-estruturais depois de receber os painéis de fechamento. Por ser um processo industrializado de construção, permite executar a obra com grande rapidez, a seco e sem desperdícios. [1].

Segundo Hass e Martins [2] a metodologia construtiva do Brasil ainda é, em geral, de forma artesanal, com grande desperdício, baixa produtividade e mesmo o país sendo um dos maiores exportadores de aço do mundo, a utilização deste material em construção civil é pequena frente ao potencial brasileiro.

Atualmente, no Brasil, a metodologia construtiva de vedação e/ou alvenaria mais utilizada ainda é a de blocos cerâmicos. Esta, por sua utilização manufaturada, ainda apresenta muito desperdício. A utilização de tal material, implica ainda no uso de massas para revestimento, cimento, entre outros, que por sua vez, aumentam ainda mais a geração de resíduos sólidos na construção civil. Tudo isso vai de “contramão” das necessidades atuais da sociedade com a preservação e preocupação com o meio ambiente e de como as gerações futuras irão receber o planeta.

2 Light Stell Frame

Como dito anteriormente, o Light Stell Frame (LSF) ou Stell Frame trata-se de um sistema construtivo industrializado estruturado por perfis leves de aço galvanizado trabalhando em conjunto com outros tipos de sistemas, como placas cimentícias e gesso acartonado, garantindo o funcionamento da edificação.

A busca de novas formas e processos para industrialização da construção, mitigando prazos e custos é o motivo com que tecnologias como o LSF estejam cada vez mais presentes no país.

Porém, apesar de se apresentar tecnicamente viável, é necessário um estudo para avaliação mercadológica do sistema como alternativa competitiva e de agregação de valor. [3].

Figura 1: Estrutura em sistema LSF



Fonte: Milan; Novello; Reis, 2011 [3]

Esta tecnologia construtiva pode ser utilizada em todo tipo de obra, desde as de grande porte, como galpões, edifícios e aeroportos, até pequenas construções de residências, como mostra a figura 1. É comum em obras maiores a utilização dos perfis LSF com outros sistemas de aço mais pesados, garantindo assim maior robustez à estrutura.

A utilização de Stell Frame pode estar presente em toda a estrutura da edificação, desde suas lajes, vigas e pilares até as paredes de vedação, estas sem função estrutural.

Porém segundo Rocha [4] o Stell Frame não pode ser simplificado apenas como um sistema estrutural, já que ele influencia em todos outros componentes construtivos, como: instalações elétricas e hidrossanitárias, fundação, isolamento e fechamento interno e externo.

De acordo com Hass e Martins (p.19) [2] o sistema construtivo em LSF apresenta significativas características como:

- *Maior área útil: as seções dos pilares e vigas de aço são mais esbeltas do que as equivalentes em concreto, o que permite aproveitar melhor o espaço interno e aumento da área útil, fator muito importante principalmente em garagens.*
- *Flexibilidade: a estrutura em aço é indicada nos casos onde é necessário adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios. Além disso, torna mais fácil a passagem de utilidades como água, ar condicionado, eletricidade, esgoto, telefonia, informática etc.*

- *Menor prazo de execução: a estrutura pode ser confeccionada em paralelo com a execução da fundação, possibilitando o trabalho em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais.*
- *Racionalização de materiais e mão-de-obra: numa obra, através de processos convencionais, o desperdício de pode chegar a 25% em peso. A estrutura em aço possibilita a adoção de sistemas industrializados, fazendo com que o desperdício seja sensivelmente reduzido.*
- *Alívio de carga nas fundações: por serem mais leves, as estruturas em aço podem reduzir em até 30% o custo das fundações.*
- *Garantia de qualidade: a fabricação de uma estrutura em aço ocorre dentro de uma indústria e conta com mão-de-obra altamente qualificada, o que dá ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior devido ao rígido controle existente durante todo o processo industrial.*
- *Organização do canteiro de obras: como a estrutura em aço é totalmente pré-fabricada, há uma melhor organização do canteiro devido entre outros à ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens, reduzindo também o inevitável desperdício desses materiais. O ambiente limpo com menor geração de entulho oferece ainda melhores condições de segurança ao trabalhador contribuindo para a redução dos acidentes na obra.*
- *Reciclabilidade: o aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas com menor geração de rejeitos.*
- *Preservação do meio ambiente: a estrutura em aço é menos agressiva ao meio ambiente, pois além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de material particulado e poluição sonora geradas pelas serras e outros equipamentos destinados a trabalhar a madeira.*

2.1 As etapas construtivas

As outras etapas construtivas utilizando o Steel Frame também possuem alguns benefícios, já que o sistema influencia de uma forma direta ou indireta nestes.

2.1.1 Fundações

Nesse método construtivo pode-se empregar qualquer sistema de fundação, porém segundo a Techne [1] as soluções mais utilizadas para construções de fundações que irão receber estruturas de LSF são radier, sapata corrida e viga baldrame. Destes o radier é a que se faz mais presente (exemplo figura 2).

Figura 2: Exemplo de radier para LSF



Fonte: Techne, 2008 [1]

Ao se tratar de um sistema estrutural autoportante, ou seja, estrutura que se suporta de forma independente de auxílio oriundo de outras estruturas (como é o caso do bloco cerâmico utilizado apenas como vedação/delimitação de espaço), a fundação precisa ser construída com nivelamento perfeito, permitindo assim a transmissão das ações estruturais. [1].

Outro benefício ao se utilizar perfis de aço leve é que o peso estrutural da construção é consideravelmente menor aos de concreto e aço convencional, motivo ao qual, como dito anteriormente, chega-se a ter reduções de até 30% dos custos da fundação e menores tensões no solo.

O radier é recomendado e utilizado em situações onde o somatório das áreas das sapatas é grande em relação à projeção da edificação. Entretanto, em construções de edifícios residenciais, onde as cargas são

baixas ainda mais ao se tratar de estruturas LSF, é comum optar-se pelo radier, principalmente no caso de repetições, como o do conjunto habitacional de edificações que iremos usar como exemplo adiante.

Durante a construção do radier, o projeto de execução a partir de estrutura Steel Frame já irá prever os pontos para locação dos furos para instalações sanitárias, dados, elétrica e hidráulica (figura 3), evitando assim retrabalhos e erros de compatibilidade de projeto, situações estas que são comuns em obras que utilizam metodologia construtiva artesanal.

Figura 3: Furo para instalações



Fonte: Techne, 2008 [1]

2.1.2 Ancoragem

Para Petersen [5] os tipos de ancoragens a serem utilizados devem ser especificados logo na fase de projeto, este motivo se dá devido ao grau de perfeição que estruturas a LSF possuem, onde tudo deve ser executado com margens de erro menores que 1mm, desta forma todo serviço deve ser previamente pensado.

Segundo Petersen, de acordo com a necessidade encontrada na obra, como profundidade, distância, espessura e posicionamento, podem ser utilizados 5 diferentes tipos de ancoragem:

a) Rosca de ancoragem; conhecida também como tipo J, esta é executada de forma a ser fixada a fundação por meio de um chumbador, este prende-se por parafuso ao perfil. A partir disso fixa-se os montantes. É a ancoragem padrão do sistema LSF.

Figura 4 : Ancoragem de rosca



Fonte: Stell House apud Petersen [5]

b) Ancoragem com tirante; trata-se de um tipo de ancoragem adicional que trabalha em conjunto com a ancoragem de rosca, servindo como reforço para a parte extra a ser ancorada. Este método de ancoragem é fabricado no próprio local da obra utilizando uma barra de aço chato, esta irá trabalhar como um gancho interno em uma das barras do contrapiso.

c) Ancoragem Simpson; esta funciona de forma parecida com a ancoragem com tirante, porém este tipo já vem pronto de fábrica e não precisa ser apoiado na barra da laje. Este modelo funciona como um conector estrutural pronto para ser instalado em qualquer tipo de fundação.

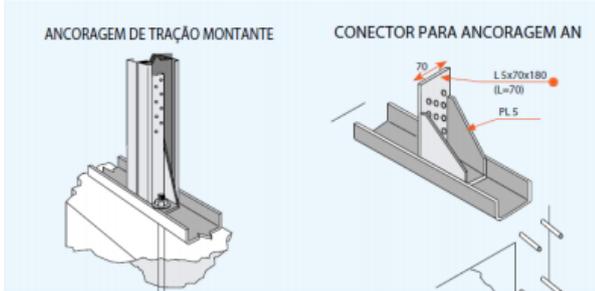
Figura 5: Ancoragem Simpson



Fonte: Stell House, 2011 apud Petersen, 2012 [5]

d) Ancoragem estruturais; estas são utilizadas de forma preferencial nos cantos onde se é necessário sustentar as cargas diagonais transmitidas pelo contraventamento ou se há concentração de esforços na estrutura.

Figura 6: Ancoragem estrutural



Fonte: Stell House, 2011 apud Petersen, 2012 [5]

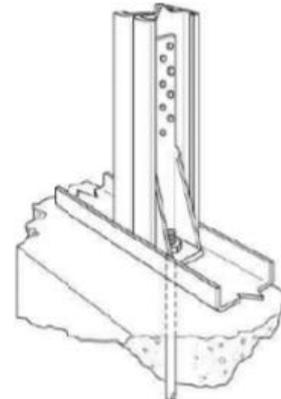
e) Ancoragem com parafusos parabout; esta é feita a partir da fixação utilizando buchas de aço, vindo a se tornar a mais usual por motivo de praticidade e segurança, já que dificilmente acontece erro na execução deste tipo de ancoragem.

2.1.3 Painéis

A caracterização da estrutura do sistema constitui-se em dividir as cargas em uma maior quantidade de elementos estruturais, sendo estes, projetado, para de forma individual receber uma pequena parcela de carga cada, possibilitando o uso de perfis conformados com chapas finas de aço. Esta divisão permite o controle de utilização e trabalha também mitigando o desperdício dos materiais industrializados complementares, são eles: OSB (Oriented Strand Board), fechamentos em placas cimentícias ou placas de gesso acartonado como drywall. [6].

O IBDA[6] também mostra que o arranjo estrutural dos montantes dos painéis, sua resistência, bem como suas características geométricas e por fim, seu sistema de fixação entre as peças, faz com que seja possível transmitir e absorver cargas horizontais e verticais. Os elementos estruturais mais utilizados a fim de assegurar a estabilidade da estrutura dos painéis e, sucessivamente da edificação do sistema, são as placas de fechamento estruturais e o contraventamento. (figura 7).

Figura 7: Esquema de fixação por chumbadores



Fonte: IBDA, 2013 [6]

2.1.4 Lajes e Coberturas

Rodrigues apud Rocha [4] mostra que os perfis do sistema LSF também suportam coberturas e lajes. A forma de trabalho dos seus elementos é de maneira bi-apoiada e desta forma, sempre que possível, transferem as cargas de forma contínua, ou seja, sem a presença de elementos de transição até a fundação (figura 8). As lajes podem ser classificadas como duas: “úmidas” ou “secas”. As secas podem ser constituídas por placas cimentícias ou painéis de madeira OSB, ambas apoiadas em perfis metálicos estruturais. As úmidas são feitas por telhas galvanizadas (formas de aço) preenchidas por tela eletro-soldada e concreto.

Figura 8: Direcionamento das cargas no sistema



Fonte: IBDA, 2013 [6]

2.1.5 Isolamentos

A ideia de isolamento embasava-se no uso de materiais com grande espessura e massa. Atualmente, com o avanço tecnológico é possível medir a necessidade do isolamento e quantificar o material isolante necessário. Existem várias formas de conservação de

energia em uma construção, entre elas conter infiltrações de água e a passagem de vento, evitar penetração e formação de umidade, adequado projeto de circulação de ar dentro da edificação ou, ainda, reduzir as perdas térmicas entre o meio interno e externo. Alguns sistemas de isolamento são: barreira de água e vento, barreira de vapor, áticos ventilados, isolantes térmicos, seladores e condicionamento acústico. [6]

2.1.6 Instalações

As instalações hidrossanitárias, elétricas, gás e dados são idênticas as instalações realizadas na alvenaria tradicional, porém no sistema Stell Frame há maior agilidade e praticidade na execução dos serviços.

Como todo o projeto é bem detalhado antes do início da execução da obra quando utilizado a metodologia LSF as instalações são feitas sempre de forma antecipada, evitando erros e retrabalhos. A execução desse serviço acontece antes do fechamento das paredes evitando a prática comum de “quebra-quebra” quando executada na alvenaria artesanal.

Outra grande vantagem do sistema é sua fácil manutenção também, bem como a utilização de sistemas próprios para estes tipos de obras limpas. Tudo isso agiliza e otimiza sua obra, mitigando custos diretos e administrativos.

2.1.7 Fechamentos e Acabamentos

Segundo Freitas apud Rocha [4], o material mais indicado para realização dos fechamentos internos das paredes da construção é o gesso acartonado, como o drywall. Pode-se encontrar no mercado do país três diferentes tipos deste material:

- Placas comuns, para locais secos, que possuem detalhe na cor natural;
- Placas resistentes a umidade, estas, como o nome fala, indicadas para ambientes úmidos e são placas de coloração verde;
- Placa resistente ao fogo, usadas mediante necessidade de proteção passiva, como em escadas de emergência. Estas são de

cor avermelhada no detalhe do envelopador do gesso.

As placas de gesso permitem receber revestimentos habituais como pintura, cerâmica, entre outros acabamentos usualmente utilizados na construção civil. O revestimento externo também não se difere ao acabamento feito em estruturas convencionais, podendo receber normalmente qualquer aplicação de materiais, como pintura, mármore ou granito e reboco. Hoje em dia, no país, já existem revestimentos desenvolvidos especialmente para o sistema LSF, como é o caso do ‘Vinílico’, que é um material composto de PVC de instalação fácil que não necessita de manutenção, e também a ‘Placa Cimentícia’, que possui aplicação direta na estrutura e depois pintada, mostrando bom desempenho. A figura 9 mostra o exemplo de uma casa construída com o sistema LSF.

Figura 9: Casa construída com sistema LSF



Fonte: AW Distribuição apud Rocha [4]

3 Metodologia e Comparação

A escolha pelo sistema Stell Frame traz enormes benefícios à obra em questão. Segundo AECWEB [7] as maiores vantagens são a organização, limpeza, baixa produção de entulho e maior velocidade na montagem. Além disso, outro ponto de destaque é sobre desempenho e a qualidade do produto e em adição a isso sua vantagem ambiental, onde esta metodologia de construção à seco chega a reduzir cerca de 80% do consumo de água quando comparada com obras que utilizam projetos em alvenaria.

3.1 Comparação entre materiais

Vale lembrar que ao se construir com LSF os custos finais diretos envolvidos ainda são bem parecidos, fato que pode inibir a busca por esta nova metodologia construtiva a princípio, porém, a pouca diferença de custo ocorre por ainda se tratar de uma tecnologia pouco difundida, utilização de material ainda em pouca escala e uso de mão de obra mais especializada.

Assim, quando se compara as características de cada material, conforme Quadro 1, pode-se notar maiores proveitos socioeconômicos e ambientais com a aplicação do sistema LSF.

Quadro 1 : Comparativo de metodologias construtivas

COMPARATIVO	
Alvenaria	LSF
Custo de fundação de 10% a 15% do custo da obra	Custo de fundação de 5% a 7% do custo da obra
Pintura feita em superfície ondulada, irregular	Pintura feita em superfície plana e lisa
Sujeito a destelhamento de ventos fortes	Resistência para ventos de até 200 km/h
Estrutura de madeira dos telhadas sujeita a insetos	Resistente a insetos
Ampliação ou reformas demoradas, "quebra-quebra", desperdício	Reformas rápidas, limpas, materiais reaproveitáveis
Difícil manutenção, defeitos ocultos, quebra de paredes	Manutenção simples, localização imediata do problema, rápido
Isolamento térmico mínimo, passagem de calor	Isolamento térmico máximo, material em todas as paredes e divisórias
Canteiro de obra sujo	Canteiro de obra limpo/organizado
Grande geração de resíduos sólidos e desperdício	Obra limpa, sem desperdício e material 100% reaproveitável
Precisão de cm	Precisão de mm

Fonte: Adaptado de AECWEB [7]

3.2 Metodologia

A metodologia adotada para comparar o custo de uma obra utilizando o sistema construtivo Stell Frame e o sistema com estrutura e alvenaria convencional consistiu de (i) uma adaptação de um levantamento realizado pela PINI, com base nos projetos públicos, a partir do software Volare TCPO 13 sobre uma obra licitada por menor preço em Alvaré, interior de São Paulo e (ii) consideração da redução dos custos administrativos indiretos hipotéticos.

4 Estudo de caso

O estudo de caso para comparação dos benefícios trazidos pela aplicação do sistema LSF teve como base a obra de construção do conjunto habitacional em Alvaré, interior de São Paulo. Trata-se da construção de casas populares para idosos utilizando metodologia LSF, porém para estudo comparativo foi realizado também um levantamento hipotético para a mesma obra com execução em estrutura de concreto armado e fechamento em alvenaria de blocos de cerâmica.

Segundo Construção e Mercado [8], o orçamento realizado pela PINI não inclui os custos de economia proporcionada pela otimização do tempo da obra quando utilizado a metodologia LSF, bem como suas reduções de custos administrativos indiretos, como tempo de serviço de colaboradores e encargos sociais.

Como mostra o Quadro 2, os custos referentes a utilização do sistema LSF foram de R\$ 28.416,04 (31,43% do custo total). O levantamento hipotético realizado utilizando a metodologia tradicional de construção obteve custos diretos menores de R\$ 22.135,27, resultando em uma diferença de R\$ 6.280,77 (cerca de 7% no valor final).

Esta diferença de 7% reflete-se em todas as 11 unidades, ou seja, uma diferença total no final de cerca de R\$ 69.088,47 de custos diretos.

Quadro 2: Comparativo entre metodologias

Opção de Utilização de Stell Frame				
Descrição	Un.	Quant.	Custo	
			Unitário	Total
Serviços Preliminares			356,38	
Fundação			6.079,14	
Estrutura Stell Frame*			28.416,04	
Stell Frame para parede interna, fechamento com gesso acartonado - seco	m ²	161,28	34,94	5.635,12
Stell Frame para parede interna, fechamento com gesso acartonado - úmido	m ²	95,04	42,68	4.056,31
Stell Frame para parede externa, fechamento com placa cimentícia - seco	m ²	172,80	108,36	18.724,61
Cobertura			5.123,89	
Revestimento			1.692,60	
Piso			6.242,71	
Esquadrias			6.832,21	
Ferragens			923,36	
Diversos			223,67	
Vidros			660,66	
Pinturas			4.845,73	
Aparelhos e Metais			2.632,74	
Instalações			26.369,09	
TOTAL			90.398,22	
Opção de Utilização de Concreto e Alvenaria				
Estrutura de Concreto*			9.508,08	
Laje Pré Fabricada	m ²	71,00	75,58	5.366,18
Concreto Estrutural	m ³	3,00	286,50	859,50
Fôrma	m ²	50,00	29,84	1.492,00
Armadura	kg	240,00	7,46	1.790,40
Alvenaria*			12.627,19	
Bloco 9x19x39	m ²	256,32	24,36	6.243,96
Bloco 19x19x19	m ²	172,80	36,94	6.383,23
TOTAL			84.117,45	

Fonte: Adaptado de Construção e Mercado [8]

Ainda de acordo com a Construção Mercado, o fator que encareceu a utilização do LSF foi o conjunto para paredes externas que saíram por 18.724,61, ou seja, 65% do custo total do sistema. Porém, de acordo com Inês Rizzo, a arquiteta responsável da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), apesar do custo mais elevado, a diferença direta não é tanta e ao se olhar a redução de prazo e sendo uma construção limpa, com

processos industriais pré-fabricados e instalações muito simples, tudo isso faz com que a metodologia construtiva Stell Frame seja viável de se utilizar.

Vale lembrar que a diferença entre os custos totais podem ser menores caso o comparativo levasse em consideração o tempo de operação que a empresa teria a mais ao construir por meio da metodologia tradicional, onde os gastos com empregados, encargos sociais e administração seriam maiores que ao se construir com o Stell Frame.

4.1 Estudo de custos indiretos hipotético

Segundo o Blog do Light Steel Frame [9] as obras utilizando a tecnologia steel frame podem chegar a ser até 60 % mais rápidas de se construir do que uma obra convencional.

Ao analisar obras de objetivo comercial, como lojas, bancos ou mercados, esta diferença no prazo de execução é facilmente revertida ao tempo de funcionamento adiantado do empreendimento, onde este começará a gerar lucros.

No caso do condomínio de casas populares, os maiores beneficiários com o menor tempo de obra seriam os idosos que iriam morar no empreendimento.

Para Edson Pereira da Silva, engenheiro gerente de orçamento da CDHU, a obra em questão poderia ser edificada em apenas 4 meses. Segundo Construção e Mercado [8] a duração da obra foi de setembro de 2009 até fevereiro de 2010, totalizando cerca de 6 meses.

O tempo de obra de forma convencional dependeria de alguns fatores, como por exemplo quantidade de colaboradores utilizado na construção, porém para análise do estudo foi considerado que uma obra convencional duraria aproximadamente 10 meses e a com a metodologia steel frame durou 6 meses, ou seja, 40% de redução do prazo.

Esses quatro meses de diferença de tempo de construção podem ser significativos ao

custo real da obra ao levarmos em consideração pequenos exemplos de insumos, como: custo mensal de dois engenheiros com salário piso, um encarregado geral de campo, contas de luz aproximadas de 300,00 reais mensais, internet/telefone e alimentação diária de 7,00 reais para cerca de 40 funcionários diariamente.

Quadro 3: Custos de insumos indiretos em 4 meses

Insumo mensal	Custo	Total
Engenheiro (x2)	R\$ 9.265,00	R\$ 37.060,00
Encarregado geral	R\$ 2.500,00	R\$ 10.000,00
Luz	R\$ 300,00	R\$ 1.200,00
Internet / Telefone	R\$ 150,00	R\$ 600,00
Alimentação (x40)	R\$ 6.160,00	R\$ 24.640,00
TOTAL de diminuição		R\$ 73.500,00

Fonte: Autor, 2019

O quadro 3 mostra que o custo direto superior de R\$ 69.088,47 do sistema steel frame é facilmente convertido ao se contabilizar pequenos exemplos de diminuição de custos indiretos devido ao menor tempo de execução de obra.

O ganho com o tempo na produção também pode ser exemplificado fazendo um comparativo entre metodologias. Segundo [10] a estrutura LSF de uma residência unifamiliar representa 10 % do peso do equivalente ao de concreto armado.

Quadro 4: Comparação de tempo de metodologias

Descrição	Recurso	Produtividade	Qnt.	Total (h)
Concreto armado (m³)				
Lançamento de concreto	Carpinteiro	0,3 (h/m³)	1000	300
	Pedreiro	1 (h/m³)	1000	1000
	Servente	1 (h/m³)	1000	1000
Estrutura metálica em aço especial (kg)				
Montagem LSF	Servente	0,18 (h/kg)	250	45
	Montador	0,18 (h/kg)	250	45

Fonte: Adaptado SCO-RJ

Utilizando o banco de dados do SCO-RJ pode-se observar, como mostra o quadro 4, a diminuição do tempo de serviço entre os colaboradores envolvidos, onde fez-se um comparativo para 1000 m³ de concreto armado (ET 04.25.0703 (A)) realizado e o correspondente em montagem de LSF (ET 24.05.0310 (/) - 10 % do peso, ou seja, 250 kg).

Pode-se observar que a diferença entre a quantidade de tempo comparando as duas metodologias para a produção da mesma estrutura é considerável. Vale lembrar que há também uma diminuição do tempo em outras atividades, como instalações e diminuição na estrutura de fundações, já que o LSF se trata de um sistema mais leve.

5 Conclusão

Considerando o cenário econômico atual, com déficit no setor imobiliário o menor prazo de execução de obra é um grande diferencial na realização de empreendimentos.

Este fator aliado com a crescente necessidade de preservação do meio ambiente, mitigação do uso de matérias primas e tentativa de diminuição de geração de resíduos da construção civil também torna obras limpas e secas, como o Light Steel Frame opção viável.

A bibliografia mostra que em geral as obras utilizando Steel Frame, além de possuírem menor tempo de execução, acarretando a diminuição de gastos indiretos e administrativos, ainda possuem menor custo direto em seus insumos e serviços também.

Entretanto, pode-se observar que nos custos referentes ao caso do exemplo analisado, os gastos referentes ao serviço da mão de obra foram mais caros por ser um trabalho que exige maior qualificação e os preços dos materiais também são elevados. Isso mostra que a baixa utilização e difusão de tais tecnologias e processos no mercado brasileiro, onde a partir do maior aparecimento destas metodologias construtivas o mercado tende a se adaptar e reduzir os custos de todo sistema construtivo, mostrando a importância da discussão do tema.

6 Referências

- [1] TECHNE. Pini. **Steel Frame – fundações (parte 1)**. 2008, edição 135. Disponível em:

- <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/135/artigo285722-1.aspx>>. Acesso em: 04 de maio. 2019.
- [2] HASS, Deleine Christina Gessi e MARTINS, Louise Floriano. **Viabilidade econômica do uso do sistema construtivo steel frame como método construtivo para habitações sociais**. 2011. 76 f. TCC (graduação) - Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/361/1/CT_EPC_2011_2_14.PDF>. Acesso em: 04 de maio. 2019.
- [3] MILAN, Gabriel Sperandio; NOVELLO, Roger Vagner; REIS, Zaida Cristiane dos. A viabilidade do sistema Light Steel Frame para construções residenciais. **Revista Gestão Industrial**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.189-209, 5 abr. 2011. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/s1808-04482011000100010>. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/viewFile/538/647>>. Acesso em: 05 maio 2019.
- [4] ROCHA, Pabliny Paiva da. Steel Frame: tecnologia na construção civil. **Revista Científica Facmais**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.1-19, mar. 2017. Disponível em: <<http://revistacientifica.facmais.com.br/wp-content/uploads/2017/04/9-STEEL-FRAME-TECNOLOGIA-NA-CONSTRU%20C3%87%20C3%83O-CIVIL.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.
- [5] PETERSEN, Robson Lassen. **Sistema “Light Steel Framing”: comparativo de execução e custos com os sistemas convencionais em blocos de concreto, tijolos seis furos e tijolos maciços**. 2012. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/2012/TCC_Robson%20Lassen%20Petersen.pdf>. Acesso em: 4 maio 2019.
- [6] IBDA - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento de Arquitetura. Fórum da Construção. **O que é o Light Steel Framing**. Elaborado por Eng. Alessandro de Souza Campos. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=29&Cod=85>>. Acesso em: 4 maio 2019.
- [7] AECWEB. **Light Steel Frame garante obras rápidas e limpas**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/light-steel-frame-garante-obras-rapidas-e-limpas_13620_10_>. Acesso em: 5 maio 2019.
- [8] CONSTRUÇÃO E MERCADO. Pini. **Quanto custa: habitação popular em steel frame**. 2010, edição 103. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/orcamento-habitacao-popular-em-steel-frame-299009-1.aspx>>. Acesso em: 5 maio 2019.
- [9] BLOG DO LIGHT STEEL FRAME. **Casa Steel Frame x Casa de Alvenaria: Comparação de preços**. 2017. Disponível em: <<http://lightsteelframe.eng.br/casa-steel-frame-x-casa-de-alvenaria-comparacao-de-precos/>>. Acesso em: 31 maio 2019.
- [10] FINESTRA. **Setor aponta vantagens e busca capacitação: Steel framing**. 2009, edição 58. Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/steel-framing-boas-respostas-01-09-2009>> Acesso em: 22 junho 2019.



Mapeamento de Publicações Científicas sobre o Uso do Sistema *Light Steel Framing*

GOMES JUNIOR Marcos Antonio Pereira¹, ABREU Victor Hugo Souza², CONFORTE Marcio Escobar³

¹ Pós-graduando em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civis, PGCOC/POLI – UFRJ

² Doutorando em Engenharia de Transportes, PET/COPPE – UFRJ

³ Mestre em Engenharia Mecânica, PEM/COPPE – UFRJ

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 02 Jun 2019

Revisão: 04 Jun 2019

Aprovação: 25 Jun 2019

Palavras- chave:

Construção Civil

Light Steel Framing

Revisão da Literatura

Resumo:

Torna-se cada vez mais relevante que os países em desenvolvimento busquem estratégias para construção de moradias de baixo custo, tendo em vista o desenvolvimento sustentável. Dentre estas estratégias, destaca-se a utilização do Light Steel Framing, que é um sistema que utiliza estruturas metálicas mais leves e econômicas. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo realizar análises bibliométricas, cientométricas e sistemáticas de estudos qualificados e diretamente aplicáveis à utilização desse sistema na construção civil, principalmente, brasileira.

1. Introdução

A construção civil, principalmente nos países em desenvolvimento, necessita de um aumento nos investimentos em moradias populares para comunidades de baixa renda, com a mentalidade de desenvolvimento sustentável (que envolve aspectos ambientais, econômicos e sociais). Dessa forma, nos últimos anos, no Brasil ocorreu uma expansão nos programas governamentais que subsidiam moradias de baixo custo [1].

Entretanto, a construção civil brasileira utiliza, na maioria das vezes, tecnologias de construção convencionais e não avançadas. Muitos projetos são caracterizados pela improvisação e o uso não-otimizado de

recursos de tempo, material, trabalho e capital [2].

Nesse sentido, devem-se buscar novos métodos que possam viabilizar a execução de projetos com alta eficiência, rapidez no processo produtivo, mão-de-obra qualificada, redução do desperdício de materiais, padronização, racionalização dos processos e cronogramas rígidos de planejamento e execução.

Dessa forma, é crescente o interesse por sistemas de construção com implementação de projetos sustentáveis. Dentre as possibilidades, estudos sobre estruturas metálicas mais leves e econômicas têm sido desenvolvidos atualmente [3].

Um exemplo de sistema que utiliza esse tipo de estrutura é o *Light Steel Framing* (LSF) que emprega os princípios de industrialização da construção, incluindo racionalização, padronização, coordenação modular e transformação do canteiro de obras. [4] relata que o LSF emergiu como uma alternativa aos sistemas existentes devido à sua facilidade de implementação, obtenção de resultados e ampla utilização no exterior.

Apesar de o LSF ser mais vantajoso, sob o ponto de vista técnico da produção de uma edificação, que os sistemas construtivos tradicionais, como a alvenaria estrutural, o sistema enfrenta grande preconceito no Brasil, devido à cultura de construção que existe no país [2].

Portanto, são necessários estudos para especializar economicamente e tecnicamente o sistema, possibilitando o desenvolvimento de um setor compatível com as necessidades brasileiras [5].

Assim, este artigo tem como propósito verificar, na base dados *Web of Science*, quais são os artigos mais relevantes sobre a utilização do sistema LSF, bem como avaliar esses estudos, utilizando análises bibliométricas, cientométricas e sistemáticas. Salienta-se ainda que é dado um enfoque especial aos estudos brasileiros sobre a temática, dada a importância do assunto para o Brasil.

Para cumprir seus objetivos, este estudo encontra-se assim estruturado. A Seção 1 trata da contextualização, da problemática, dos objetivos e da estruturação do trabalho. A Seção 2 apresenta um apanhado geral sobre o LSF. A Seção 3 aborda sobre o procedimento metodológico utilizado para condução das buscas bibliográficas. A Seção 4 apresenta e discute os resultados. E por fim, a Seção 5 contém as considerações finais, seguida da bibliografia.

2. Sistema *Light Steel Framing*

O *Light Steel Framing* (LSF) é um sistema construtivo de concepção racional, estruturado em perfis de aço moldado a frio, projetados para suportar cargas das edificações e trabalhar em conjunto com outros subsistemas industrializados [5], de forma a garantir os requisitos de funcionalidade e oferecer soluções para construção de empreendimentos com agilidade, sustentabilidade e inovação.

Santiago *et al* [6] definem ainda que apesar da derivação do nome “*Steel Framing*” significar esqueleto de aço, ou ainda estrutura de aço, o LSF não se resume apenas a estrutura, sendo composto por diversos sistemas e subsistemas.

Pode-se diferenciar o sistema LSF de outros sistemas construtivos tradicionais por sua composição (estrutural, isolamento, acabamento, exteriores e interiores, instalações, etc.) trabalhando todos em conjunto. Isso resulta em alta capacidade isolante térmica e acústica [7].

Suas diversas vantagens incluem leveza, alta resistência mecânica, pré-fabricação fácil e rápida e alto potencial de reciclagem e reutilização [8, 9]. Além disso, esse sistema apresenta fácil adaptabilidade à maioria dos requisitos arquitetônicos e estruturais [10].

A tecnologia de construção do LSF foi introduzida no Brasil, no final da década de 1990, para a construção de casas residenciais. Como o sistema foi importado dos Estados Unidos e está otimizado para funcionar bem nesse clima temperado, algumas modificações devem ser feitas para adaptá-lo ao clima brasileiro [2].

Veljkovic e Johansson [11] afirmam que o sistema LSF pode ser projetado para atender todos os requisitos funcionais característicos de edificações residenciais, sendo adequado para a produção industrializada, de maneira que são, portanto, uma parte natural de um processo de construção industrial.

3. Procedimento Metodológico

O procedimento metodológico deste artigo adota uma abordagem bibliométrica, cientométrica e sistemática para mapeamento dos principais estudos sobre a temática averiguada.

A bibliometria é uma área da ciência da informação que abrange os estudos que procuram quantificar os processos de comunicação escrita, aplicando métodos numéricos específicos [12].

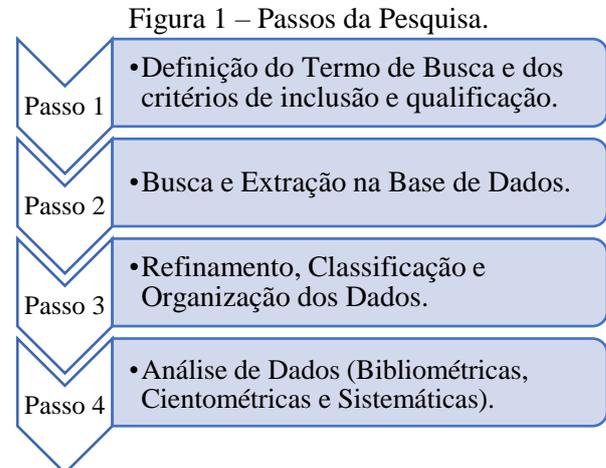
Para Price [13], a cientometria pode ser definida como o estudo das medidas e índices de avaliação da pesquisa que apresenta duas aplicações principais: (I) Avaliação da produção científica para distribuição de verbas para pesquisa; (II) Aplicação critérios de qualidade para orientar os leitores na seleção da melhor evidência científica.

O fator de impacto dos periódicos é publicado anualmente pelo ISI (*Institute for Scientific Information*), e pode ser considerado o mais conhecido dos índices cientométricos. Outra medida que vem ganhando importância nos últimos anos é o índice *h*. Esta medida é utilizada principalmente para avaliação dos pesquisadores e reflete, tanto o número de publicações, como também o número de citações dos trabalhos.

A Análise Sistemática tem como objetivo identificar, avaliar e integrar todos os resultados de estudos relevantes e de boa qualidade que abordam uma ou mais questões relacionadas ao estudo proposto [14]. Durante esta revisão devem ser utilizadas fontes que fundamentam a presença do problema sob investigação [15]. Essa atividade permite ao pesquisador fornecer um sólido argumento relacionado à necessidade do estudo, bem como o ponto onde a literatura se encaixa com o objetivo estipulado [14].

Com o intuito de mapear as publicações científicas mais relevantes sobre o uso do *Light Steel Framing* na construção civil,

utilizou-se a base de dados *Web of Science*, que apresenta um alcance e cobertura satisfatórios [16]. Neste contexto, a condução das pesquisas seguiu os passos apresentados na Figura 1 (que é uma adaptação de [17]).



Fonte: Elaboração Própria (2019).

No Passo 1, o termo de pesquisa mais adequado para coleta de dados foi definido por meio de uma pesquisa minuciosa de fontes primárias. A seleção desse termo pode influenciar nos resultados obtidos e, portanto, é um passo crucial em qualquer pesquisa bibliográfica. Além disso, também foram definidos os critérios de inclusão dos artigos, necessários para a filtragem inicial, e os critérios de qualificação, necessários para uma filtragem mais aprofundada. A descrição de todas as estratégias de pesquisa encontra-se na Tabela 1.

Salienta-se que TS = Tópico representa as palavras que são pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos.

Além disso, em relação aos *indexes* tem-se: (i) SCI-EXPANDED representa mais de 8.300 periódicos em 150 áreas diferentes, com publicações de 1990; (ii) SSCI centra-se nas ciências sociais, cobrindo 2.950 fontes de publicação, em mais de 50 áreas, desde 1990; (iii) A&HCI cobre mais de 1.600 fontes de publicação, desde 1975; (iv) CPCI-S abrange a literatura de procedimentos de conferências de todas as áreas técnicas e científicas; (v) CPCI-SSH compreende a literatura de

procedimentos de conferências de todos os campos das ciências sociais, Artes e Humanidades; e (vi) ESCI cobre publicações de 2015, este índice contém registros de artigos em periódicos não cobertos pela SCI-EXPANDED, SSCI e A&HCI ainda [18].

Tabela 1 – Descrição da estratégia de pesquisa.

Critério	Descrição
Tópico	$TS = ("Light* Steel* Fram*")$
Base de Dados	Web of Science
Indexes	SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI
Inclusão	(I) Tempo de cobertura: todos os anos da base de dados (1945 – 2019); (II) Enquadramento com o objetivo proposto; (III) Fator de impacto do periódico; e (IV) Tipos de documentos: somente artigos.
Qualificação	(I) A pesquisa apresenta uma revisão bibliográfica bem fundamentada? (II) O estudo apresenta inovação técnica? (III) As contribuições são discutidas? (IV) As limitações são explicitamente declaradas? e (VI) Os resultados e conclusões são consistentes com os objetivos pré-estabelecidos?
Data do Estudo	17 de abril de 2019, as 10h00min

Fonte: Elaboração Própria (2019).

No Passo 2, o termo escolhido juntamente com os filtros de inclusão foram introduzidos na base de dados e os artigos encontrados por eles foram extraídos para futura análise.

No Passo 3, houve o refinamento (aplicação dos critérios de qualificação) e a classificação dos artigos selecionados. Além disso, realizou-se a organização do banco de dados.

As atividades realizadas no Passo 3 são de suma importância porque podem identificar artigos que apesar de terem sido inicialmente incluídos, não apresentam relação direta (qualidade e aplicabilidade) com o tema estudado.

No Passo 4, ocorreu a análise dos dados, conforme é descrita na Seção 4. Salienta-se

que o *software* de mineração de dados *Vantage Point* e o *Excel* foram utilizados no Passo 3 para refinamento dos dados e no Passo 4 para realização das análises bibliométricas, cientométricas e sistemáticas.

4. Resultados

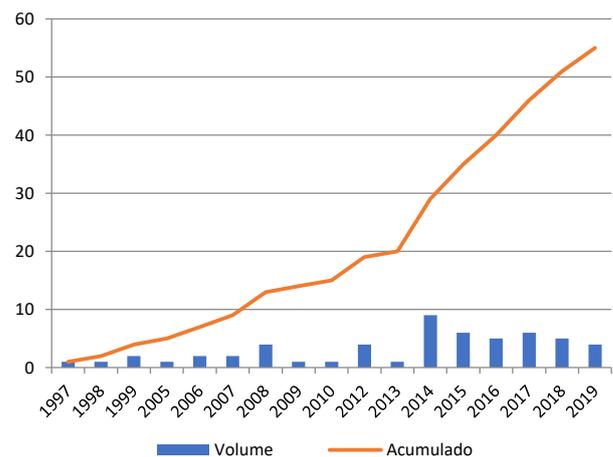
A partir da busca realizada no banco de dados *Web of Science*, constatou-se que 55 publicações estavam aptas a serem incluídas no repositório da pesquisa (atendiam aos critérios de inclusão e qualificação, aplicabilidade e qualidade).

As próximas subseções buscam realizar análises bibliométricas e cientométricas de todos os artigos encontrados e análises sistemáticas dos artigos nacionais.

4.1 Análises bibliométricas e cientométricas dos artigos

A Figura 2 mostra a evolução das publicações sobre o assunto. Nela, verifica-se que a primeira publicação foi registrada em 1997, mas houve uma constância nas publicações apenas a partir de 2012.

Figura 2 – Evolução das publicações sobre o assunto em estudo.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Há um aumento do interesse pela temática, a partir de 2014, e o assunto continua em expansão, com ápice também em

2014. Além disso, a curva acumulada representa o interesse crescente sobre o tema ao longo dos anos.

Em relação aos principais autores, a Tabela 2 apresenta aqueles cujo volume de publicação é, no mínimo, igual a dois artigos. Menciona-se que aproximadamente 146 autores estão listados nas 55 publicações encontradas.

Destaca-se que P (Publicações) refere-se ao quantitativo de artigos publicados pelo autor sobre a área de interesse e Índice h baseia-se em uma lista de publicações classificadas em ordem decrescente pela contagem de número de citações. Um Índice h significa que existem h artigos em que cada um foi citado pelo menos h vezes. O Índice h é baseado na abrangência dos anos de sua assinatura do produto e do tempo estipulado selecionado. Os itens fonte que não fazem parte da assinatura não são fatorados no cálculo.

Tabela 2 – Principais autores sobre o assunto.

Autores	P	Índice h
P. Santos	7	23
L. S. Da Silva	4	22
H. R. Ronagh	3	19
C. Martins	3	4
J. J. Costa	2	15
A. R. Gaspar	2	15
I. Georgieva	2	5
S. Hatami	2	2
Y. H. Lee	2	1
S. Mohammad	2	3
L. Pyl	2	10
E. Roque	2	2
B. W. Schafer	2	9
L. Schueremans	2	13
H. Shariatmadari	2	15
N. Soares.	2	8
M. A. Sultan	2	11
C. S. Tan	2	7
A. Yegane	2	1
M. Zeynalian.	2	8

Fonte: Elaboração Própria (2019).

A Tabela 2 mostra que os autores que se destacam no desenvolvimento de publicações relacionadas ao tema são: P. Santos, com sete publicações e Índice h igual a 23, L. S. Da Silva, com quatro publicações e Índice h igual a 22, e H. R. Ronagh, com três publicações e Índice h igual a 19. Nota-se assim que os autores mais relevantes sobre o assunto (com maior número de publicações) são também os pesquisadores mais relevantes cientificamente da Tabela 2.

Também se considerou pertinente avaliar quais são os países de origem das Instituições de Ensino dos autores que mais desenvolvem artigos relevantes sobre o assunto. Dessa forma, os países com volume de publicações maior que dois artigos se encontram identificados na Tabela 3.

Menciona-se que P (Publicações) se refere ao quantitativo de artigos publicados por país sobre a área de interesse investigada.

Tabela 3 – Principais países de origem dos artigos mais relevantes sobre o assunto.

Países/Regiões	P
Portugal	9
Irã	8
Brasil	6
Austrália	5
Canadá	5
Inglaterra	4
China	4
EUA	4
Bélgica	3
Malásia	3
Nova Zelândia	2
Suíça	2

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 3, nota-se que os países que mais publicam estudos sobre o assunto são: Portugal, com 9 publicações, Irã, com 8 publicações, e Brasil, com 6 publicações. Além disso, entre os países mais relevantes quatro são da Europa (Portugal, Inglaterra, Bélgica e Suécia), três da Ásia (Irã, China e Malásia), dois da Oceania (Austrália e Nova Zelândia), dois América do Norte (EUA e Canadá) e um da América do Sul (Brasil).

Torna-se também pertinente avaliar os artigos por periódico de publicação, de modo a identificar quais são as revistas que mais se interessam pelo assunto, bem como o fator de impacto de cada uma delas. Nesse sentido, a Tabela 4 apresenta os periódicos cujo volume de publicação é, no mínimo, igual a dois artigos. Menciona-se que aproximadamente 35 revistas científicas publicaram estudos sobre o assunto. Além disso, destaca-se que P (Publicações) se refere ao quantitativo de artigos publicados no periódico sobre a área de interesse investigada e FI (Fator de Impacto) avalia a importância de periódicos científicos em suas respectivas áreas. Os valores apresentados na Coluna FI correspondem ao ano de 2017.

Tabela 4 – Principais periódicos sobre o assunto.

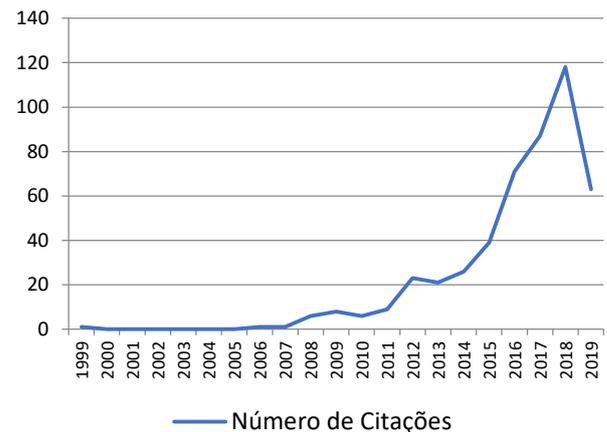
Periódicos de Publicação	P	FI
<i>Thin Walled Structures</i>	11	2,881
<i>Journal of Constructional Steel Research</i>	5	2,509
<i>Energy and Buildings</i>	3	4,457
<i>Fire Technology</i>	3	1,483
<i>Building and Environment</i>	2	4,539
<i>Journal of Building Physics</i>	2	1,226
<i>Journal of Fundamental and Applied Sciences</i>	2	3,660

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 4, nota-se que os periódicos que mais se interessam pelo assunto são: *Thin Walled Structures*, com 11 publicações, *Journal of Constructional Steel Research*, com 5 publicações, e *Energy and Buildings* e *Fire Technology*, com 3 publicações. Salienta-se ainda que ao ordenar os periódicos por fator de impacto, identifica-se que aqueles mais relevantes são: *Building and Environment*, *Energy and Buildings* e *Journal of Fundamental and Applied Sciences*.

Outra análise importante refere-se ao número de citações por ano, conforme é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Evolução das citações por ano.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Figura 3 observa-se que o número de citações cresceu com o passar dos anos, a partir do ano de 1999, atingindo o ápice em 2018, demonstrando o crescente interesse pelo assunto. Destaca-se ainda que, ao todo, foram identificadas 480 citações.

4.2 Análises sistemáticas dos artigos nacionais

Na base de dados *Web of Science* foram identificados seis artigos brasileiros (conforme é apresentado na Tabela 5) sobre o assunto.

Salienta-se que C (Citações) refere-se ao quantitativo de artigos que mencionam o artigo analisado e MCA (Média de Citações por Ano) refere-se ao valor médio obtido pelo número de citações totais dividido pelos anos decorrentes desde sua publicação.

Tabela 5 – Artigos brasileiros sobre o LSF.

Autores	Periódico	C	MCA
[2]	<i>Applied Thermal engineering</i>	13	2,2
[1]	<i>European Journal of Sustainable Development</i>	1	0,5
[19]	<i>Building and Environment</i>	2	0,5
[5]	<i>Journal of Building Engineering</i>	0	0
[20]	<i>Archnet-ijar</i>	0	0
	<i>International Journal of Architectural Research</i>	0	0

Autores	Periódico	C	MCA
[21]	Rem-revista Escola de Minas	0	0

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 5, constata-se que o artigo com maior número de citações é Gomes *et al.* (2013), com 13 citações e média de 2,2 citações por ano. Nota-se ainda que a investigação brasileira sobre o assunto é bem atual (fato que impacta diretamente no baixo número de citações totais e na média por ano), com artigo mais antigo publicado no ano de 2013. Além disso, um artigo é do ano de 2015, um do ano 2017, dois do ano de 2018 e um do ano corrente de 2019. Esses dados mostram que o assunto continua em evolução no Brasil.

A fim de salientar os principais pontos críticos (assuntos mais pertinentes) analisados no Brasil, busca-se apresentar um breve resumo sobre cada um dos artigos brasileiros mais relevantes da base de dados, conforme segue.

Gomes *et al* [2] avaliaram o impacto no desempenho térmico dos edifícios projetados com *Light Steel Framing* no Brasil. O programa de simulação numérica *EnergyPlus* e um método específico, que considerou os efeitos das estruturas metálicas nas simulações horárias, foram utilizados para a análise. Dois edifícios comerciais com ar condicionado foram usados como estudos de caso. Os resultados mostraram que pico de carga térmica aumentou aproximadamente 10%, quando uma estrutura metálica interna foi incluída nas simulações numéricas, em comparação com estruturas não metálicas. Mesmo quando um painel da estrutura de metal foi usado apenas para elementos verticais na fachada de um edifício com uma estrutura convencional de concreto, as simulações mostraram um aumento de 5% no uso anual de energia.

Gurgulino *et al* [1] avaliaram os aspectos sustentáveis de dois sistemas construtivos

(*Light Steel Framing* e *Structural Concrete Walls*). As teorias que envolvem ambos os métodos e sua abordagem prática foram comparadas aos seus padrões econômicos, ecológicos e sociais (desenvolvimento sustentável). Os aspectos locais como o fornecimento de materiais, o conhecimento da força de trabalho e as possíveis projeções de obsolescência social foram garantidos para ambas as técnicas. Assim, foi possível rastrear um canteiro de obras da extensão de aproximadamente 1600 casas em paredes de concreto estruturais e outro de uma única casa em estrutura de aço leve, que é então extrapolada para uma extensão de várias casas para comparação. Com base nos padrões sustentáveis, o sistema *Light Steel Frame* demonstrou ser superior em todos os aspectos avaliados, quando aplicadas às condições geográficas.

Paul *et al* [19] verificaram que o isolamento acústico de estruturas de LSF, em casos específicos, que incluem a presença de reforços horizontais ou o uso de revestimentos específicos, como placas de cimento para o revestimento externo, é raramente investigado. Dessa forma, realizaram testes de desempenho acústico em dez diferentes paredes de aço leve (por exemplo, usando placas de cimento, placas de gesso, painéis de PVC e reforços horizontais adicionais). O isolamento acústico foi caracterizado por meio do índice de redução de ruído R, do índice de redução de ruído ponderado R-w, dos termos de adaptação espectral C, C-tr e da classe de transmissão sonora. Os autores constataram, por exemplo, que os índices de redução de ruído ponderado R-w variaram de 43 dB a 47 dB, sendo o menor para uma parede que usa revestimento de PVC e o maior para a parede que usa o revestimento de cimento. Além disso, a adição de canais resilientes e fita de espuma proporciona um aumento de até 5 dB em R-w.

Martins *et al* [5] realizaram uma análise comparativa do desempenho térmico de placas de magnésio e de fibra de cimento

Portland aplicadas ao LSF. Os autores identificaram que, no Brasil, placas feitas de cimento e fibras sintéticas são amplamente aplicadas na construção civil. No entanto, elas têm um comportamento higrotérmico insatisfatório, baixa estabilidade dimensional e alta condutividade térmica. Portanto, este estudo analisou como alternativa, placas de magnésio que têm maior estabilidade dimensional e menor condutividade térmica, embora tais placas de óxido de magnésio (MgO) não sejam atualmente fabricadas no Brasil. Análises comparativas e medições do desempenho térmico foram realizadas por meio de testes espectrofotométricos para calcular a absorção solar, por termografia infravermelha para obter temperaturas de superfície dos painéis. Os resultados demonstraram que as placas de magnésio podem contribuir significativamente para um melhor desempenho térmico do ambiente construído.

Costa *et al* [20] avaliaram o desempenho térmico de telhado verde em comparação a telha de cimento amiantado aplicadas a edifícios brasileiros que utilizam LSF como sistema produtivo. Como pesquisa experimental, os módulos foram construídos em local amplo, se proporcionado por ambos os módulos, construídos com diferentes telhados. Para pesquisa experimental, os módulos (telhado verde e telha de cimento amiantado) foram construídos em uma área ampla, sem incidência de sombreamento ou qualquer tipo de interferência, causada por edifícios ou vegetação. Além disso, os módulos foram posicionados com a mesma orientação solar, dispostos lado a lado, a uma distância de dois metros um do outro, com as portas voltadas para a orientação sul e as janelas voltadas para a orientação leste. Como resultado, verificou-se que o módulo com telhado verde apresentou melhor desempenho que o módulo coberto com telha de amianto em todos os cenários criados. O módulo coberto com telhado verde manteve menor variação de temperatura interna ao longo dos

dias, indicando que o telhado verde possui isolamento térmico característico, reduzindo o fluxo de calor em toda estrutura.

Alves e Batista [21] buscaram contribuir para o estudo do LSF, sob condições de incêndio. Especificamente, a transferência de calor em paredes de LSF com ou sem isolamento térmico foi estudada. Para isso, modelos computacionais foram aplicados para obter, com precisão aceitável, os valores de temperatura em qualquer posição do sistema estrutural. As simulações numéricas de transferência de calor foram desenvolvidas com o auxílio dos programas computacionais ABAQUS e SAFIR, ambos baseados no método dos elementos finitos. Desta forma, foi possível descrever a distribuição de temperatura (uniforme ou não uniforme) sobre a seção transversal dos pinos que constituem o painel, fornecendo subsídios para a estabilidade e análises de pós-flambagem dos elementos estruturais.

5. Considerações Finais

Demonstrada a necessidade de realização de pesquisas científicas que investiguem, especificamente, aplicação do LSF na construção civil, este artigo teve como objetivo investigar os estudos científicos que tratam especificamente sobre o assunto. Para isso, foram realizados estudos bibliométricos, cientométricos e sistemáticos desses trabalhos, de modo a orientar pesquisadores sobre artigos qualificados e diretamente aplicáveis ao assunto.

As análises bibliométricas e cientométricas constataam que o assunto continua em expansão, com ápice no número de publicações em 2014, e que o número de citações cresceu com o passar dos anos, a partir do ano de 1999, atingindo o ápice em 2018. Além disso, identifica-se que o Brasil é o terceiro país que mais publica estudos sobre o assunto, ficando atrás apenas de Portugal e do Irã, e que importantes periódicos científicos se interessam pelo estudo do LFS

como o *Building and Environment* e o *Energy and Buildings*, que apresentam fator de impacto maior que 4.

Em relação às análises sistemáticas, focada nos estudos brasileiros, nota-se que a maioria se concentra em analisar o desempenho térmico do sistema LSF seja na comparação entre diferentes tipos de placas (placas de MgO e fibra de cimento *Portland*) e diferentes tipos de telhados (telhado verde em comparação a telhas de cimento amiantado) ou mesmo no desempenho das estruturas para suportar o calor.

Além disso, um trabalho trata especificamente em relação à análise do isolamento acústico em casos distintos que incluem a presença de reforços horizontais ou uso de revestimentos específicos e outro trabalho trata da comparação dos aspectos sustentáveis do *Light Steel Framing* e do *Structural Concrete Walls*.

Os resultados dos estudos brasileiros demonstram que as placas de magnésio podem contribuir para um melhor desempenho térmico do ambiente construído que as fibras de cimento *Portland*, que o módulo coberto com telhado verde manteve menor variação de temperatura interna que as telhas de cimento amiantado, que o pico de carga térmica aumenta aproximadamente 10% quando uma estrutura metálica interna é incluída nas simulações numéricas em comparação com estruturas não metálicas e que é possível descrever a distribuição de temperatura sobre a seção transversal dos pinos que constituem o painel, fornecendo subsídios para a estabilidade e análises de pós-flambagem dos elementos estruturais.

Em relação ao desempenho acústico, nota-se que índices de redução de ruído ponderado R-w variaram de 43 dB a 47 dB, sendo o menor para uma parede que usa revestimento de PVC e o maior para a parede que usa o revestimento de cimento. Além disso, com base nos padrões sustentáveis (econômicos, ecológicos e sociais), o sistema

Light Steel Frame demonstrou ser superior que o *Structural Concrete Walls* em todos os padrões quando aplicado às condições geográficas.

Frente à necessidade de aprimoramento dessa pesquisa, considera-se pertinente realizar análises sistemáticas de artigos internacionais que tratam diretamente do assunto, de modo a incorporar as melhores práticas e idéias no sistema LSF brasileiro.

6. Referências

- [1] J. Gurgulino, R. Saraiva, T. Tatiana, *Light Steel Framing and Structural Concrete Walls: Sustainable Perspectives for Affordable Housing*, *European Journal of Sustainable Development*, 6, (3), 483-490, 2017.
- [2] A. P. Gomes, H. A. De Souza, A. Tribes, *Impact of thermal bridging on the performance of buildings using Light Steel Framing in Brazil*, *Applied Thermal Engineering*, 52(1), 84-89, 2013.
- [3] P. Santos, C. Martins, L. S. Da Silva, L. Bragança, *Thermal performance of lightweight steel framed wall: The importance of flanking thermal losses*, *Journal of Building Physics*, 38(1), 81-98, 2013.
- [4] H. C. Campos, *Avaliação pós-ocupação de edificações construídas no sistema Light Steel Framing*, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- [5] J. A. Martins, J. C. M. Gomes, P. Fontanini, K. Dornelles, *Comparative Analysis on Thermal Performance of MgO and Fiber Cement Boards applied to Light Steel Frame Building Systems*, *Journal of Building Engineering*, 2018.
- [6] A. K. Santiago, A. M. S. Freitas, R. C. M. Castro, *Manual de construção em aço* –

- Steel Framing: Arquitetura, 2012, 152 f, 2ª ed.
- [7] F. C. Rodrigues, Manual de Construção em Aço: Steel Framing – Engenharia. Instituto Aço Brasil – Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2016.
- [8] V. Murtinho, H. Ferreira, A. Correia, Affordable houses: architectural concept of light steel residential house, In: ICESA2010 – International conference on structures and architecture, Portugal, 21–23, 2010.
- [9] P. Santos, H. Gervásio H, L. S. Da Silva, Influence of climate change on the energy efficiency of light-weight steel residential buildings, Civil Engineering and Environmental Systems, 28, 325–352, 2011.
- [10] J. Henriques, N. Rosa, H. Gervasio, Santos, P., e da Silva, L. S. Structural performance of light steel framing panels using screw connections subjected to lateral loading, Thin-Walled Structures, 121, 67–88, 2017.
- [11] M. Veljkovic, B. Johansson, Light steel framing for residential buildings, Thin-Walled Structures, 44(12), 1272–1279, 2006.
- [12] N. Foresti, Estudo da contribuição das revistas brasileiras de Biblioteconomia e Ciência da Informação enquanto fonte de referência para a pesquisa, Dissertação (Mestrado) – Departamento de Biblioteconomia, Faculdade de Estudos Sociais e Aplicados, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1989.
- [13] D. J. S. Price, The structures of publication in science and technology, Factors in the transfer of technology, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969.
- [14] V. H. S. Abreu, Revisão bibliográfica sistemática sobre o problema de localização de sensores de tráfego em redes, Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes, ANPET, 2017.
- [15] S. J. Barnes, Assessing the value of IS journals, Communications of the ACM, 48, (1), 110-112, 2005.
- [16] X. Chen, The declining value of subscription-based abstracting and indexing services in the new knowledge dissemination era, Serials Review, 36(2), 79–85, 2010.
- [17] V. A. Guimarães, G. M. Ribeiro, M. A. Ferreira, Mapping of the Brazilian scientific publication on facility location, Pesquisa Operacional, 38(2), 307-330, 2018.
- [18] Thomsonreuters, Web of Science, TM Todas as bases de dados, 2016.
- [19] S. Paul, G. F. Radavelli, A. R. Da Silva, Experimental evaluation of sound insulation of light steel frame façades that use horizontal inter-stud stiffeners and different lining materials, Building and Environment, 94, (2), 829-839, 2015.
- [20] A. F. G. M. Costa, J. A. Paschoalin Filho, T. T. P. Cortese, B. C. C. Leite, Archnet-ijar International Journal of Architectural Research, 12 (3), 288-307, 2018.
- [21] M. C. Alves, E. M. Batista, Computational analysis of the heat transfer through cold-formed steel frame panel under fire condition, Rem: Rev. Esc. Minas, 60 (2), 2007.



Reforço de Fundações Diretas em Pontes de Concreto Armado

VASCONCELLOS Vivian, MOTA Carla

Núcleo de Pesquisas em Planejamento e Gestão, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 01 Jun 2019

Revisão: 06 Jun 2019

Aprovação: 20 Jun 2019

Palavras-chave:

Reforço,

Fundações superficiais,

Pontes,

Patologias,

Erosão.

Resumo:

O reforço de fundações superficiais de pontes em concreto armado é um assunto bastante complexo, tendo em vista a necessidade de entender o comportamento estrutural das pontes, assim como a interação entre o solo e os elementos de fundação. Para que as fundações atendam as cargas solicitantes com segurança, é imprescindível a realização de uma investigação geotécnica adequada, a fim de prever uma série de patologias. A execução correta das fundações, atendendo as orientações previstas em norma, também pode ser um fator determinante para prevenção das manifestações patológicas. Executadas com concreto armado, sofrem ainda patologias inerentes ao próprio material e por estarem, em sua grande maioria, localizadas sobre rios, estão sujeitas a erosão, sendo esta a patologia mais comum encontrada neste tipo de estrutura. O presente trabalho aborda as principais patologias que podem ocorrer em fundações superficiais e os tipos de reforços cabíveis para solucionar essas problemáticas.

1. Introdução

É de conhecimento do profissional, da área de engenharia civil, que as fundações são responsáveis em transmitir as cargas estruturais ao solo, não existindo exagero ao dizer que este elemento é primordial para mantermos a segurança e eficiência de qualquer construção [1].

Sendo o solo, um material proveniente de processo contínuo de decomposição de diversas camadas de rocha, sua formação interfere diretamente em suas características mecânicas. Estabelecer uma segurança completa para projetos que envolvem a engenharia geotécnica é algo bastante complexo. A necessidade em soluções empíricas se faz presente em todas as etapas de um projeto de fundação, a fim de

estabelecer uma segurança adequada para as construções.

Por se tratarem de estruturas que se encontram abaixo do nível do solo, as fundações apresentam dificuldades para que seja reconhecido seu mau funcionamento. Geralmente, só é possível avaliar esses problemas quando as manifestações patológicas, como trincas e fissuras, começam a aparecer nos elementos da superestrutura. Encontrar a solução adequada e menos onerosa pode ser fundamental para a viabilidade da obra.

É importante destacar que as pontes de concreto podem ter sido dimensionadas com normas defasadas, levando em conta carregamentos móveis que não condizem a com a realidade atual, o que proporciona

dificuldades ainda maiores na execução do reforço necessário.

2. Desenvolvimento

2.1. Patologia em Fundações

Para abordar as soluções, primeiramente, é necessário relatar os problemas, uma vez que as patologias das fundações são umas das maiores causas de reforço, podendo acontecer por diversos fatores.

Observa-se que a ocorrência das patologias em fundações, tanto no âmbito nacional, como internacional, tem sido reportada com mais frequência. A maioria dos problemas patológicos, encontrados no Brasil, acontece devido à redução de custo, que afeta a qualidade dos serviços atrelados à pressa em construir. Pouco se preocupa em seguir adequadamente as diretrizes previstas em norma, ou seja, realizando os procedimentos corretos antes, durante e depois da execução do projeto, gerando, assim, danos que podem comprometer a segurança das construções. Marinho [2] confirma essa teoria alertando que a falta de preocupação em construir com qualidade e eficiência, pode causar danos irreparáveis, originando desastres de dimensões altíssimas que poderiam ser diminuídos ou evitados com a utilização dos procedimentos corretos.

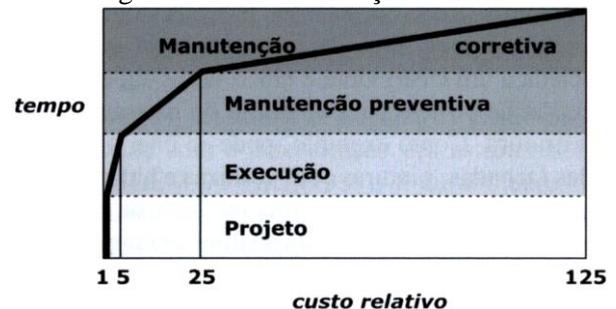
Analisar as patologias existentes em fundações não é algo simples, pois é necessário avaliar a estrutura como um todo, e, após esse estudo, investigar qual a causa do problema. As patologias podem ser identificadas em qualquer etapa construtiva, algumas resolvidas de maneira simples com os reforços superficiais, e outras através de uma solução mais complexa como demolições, escoramento da estrutura e reforços mais caros. Quanto mais cedo for diagnosticado o problema e executado o devido reparo, menor será a perda de desempenho estrutural, incluindo o prejuízo financeiro.

Quando diagnosticada uma patologia, deve-se identificar suas origens e possíveis

mecanismos deflagradores, acompanhar sua evolução através de mecanismos de monitoramento da evolução, como os testemunhos das trincas, fissuras, desaprumos, entre outros.

O processo patológico é evolutivo, tendendo a ficar pior com o tempo e desenvolver outros tipos de patologias decorrentes da inicial. Todas as medidas adotadas a fim de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, com o intuito de minorar a possibilidade de aparecimento de patologias, mesmo que ainda na fase de projeto, é válida, pois pode gerar uma economia significativa para obra. A Lei de evolução de custos, conhecida como Lei de Sitter, confirma essa teoria, mostrando que os custos de correção crescem seguindo uma progressão geométrica de razão cinco. Se a manutenção não for realizada durante as fases de construção, o valor com reparos poderá chegar a uma razão de 125 [3], o que pode ser observado na figura 1.

Figura 1 – Lei de evolução de custos



Fonte: Sitter apud Vitorio [3]

As causas mais relevantes das patologias nas fundações acontecem em consequência da ausência/falha das investigações geotécnicas, falta de conhecimento do desempenho real da interação solo estrutura, problemas relacionados às etapas de construção, quando não há o cumprimento das especificações normativas, e problemas associados ao pós-obra. Em uma análise realizada por Vitorio [4], após investigar 40 pontes rodoviárias federais brasileiras (Quadro 1), aponta, de forma resumida, as patologias apresentadas na infraestrutura destes tipos de pontes.

Quadro 1 – Patologias na infraestrutura de 40 pontes brasileiras
Fonte: Vitório [4]

Tipo de dano	Quantidade De obras	%
Erosão nas fundações de encontros e pilares	18	45,0
Descalçamento das fundações de encontros e pilares	6	15,0
Recalque de fundações de encontros e pilares	5	12,5
Exposição e desconfinamento de estacas	4	10,0
Deterioração do concreto de sapatas, blocos de estacas ou tubulões	10	25,0
Oxidação das armaduras de sapatas, blocos de estacas e cintas	10	25,0
Deterioração de concreto e oxidação de armaduras nos fustes de tubulões	2	5,0
Erosão nos aterros dos encontros	10	25,0

Outro estudo, apresentado por Vitório [3] demonstra, ao inspecionar 100 pontes de concreto armado no Brasil, que dentro desta amostragem, cerca de 36% das fundações foram feitas com sapatas e cerca de 33% das patologias apresentadas, nas 100 obras, foram causadas por erosão.

Os tópicos seguintes apresentam as principais causas que podem motivar as patologias em fundações superficiais.

2.1.1. Investigação Geotécnica

O solo é o responsável por suportar todo o carregamento exercido pela construção. Entender seu comportamento e suas características é fundamental para estabilidade de qualquer estrutura. Uma das maiores causas de reforço estrutural, em fundações, está diretamente relacionada com a falha na investigação do solo ou com a interpretação incorreta do perfil.

Conhecer as características físicas do solo é essencial, não só para determinar o tipo de fundação, mas também prever “acidentes”, como a presença de matacões, presença de água, e vazios que possam intervir no processo construtivo [5].

A ABNT [6] afirma que deve ser realizada uma campanha de investigação geotécnica preliminar para qualquer tipo de edificação, com pelo menos sondagens a percussão, para obter a estratigrafia do solo, posição do nível d’água e o índice de resistência NSPT.

Para pontes, os estudos do solo devem ser feitos em duas etapas, distintas e complementares. Na primeira etapa, a fase anteprojeto, são realizados estudos preliminares a fim de estudar a viabilidade técnica e econômica da obra, comprimento e extensão dos aterros de acesso e definição estrutural, levando em consideração a interação solo-estrutura. Na segunda etapa, são realizadas sondagens complementares e estudos específicos para que seja realizado o projeto de infraestrutura e a análise minuciosa dos fenômenos que causem algum tipo de interferência na estrutura. É imprescindível e obrigatório que tenha uma sondagem no local exato de cada fundação [7].

É recomendado, que sejam executados, pelo menos, dois furos sob cada linha de apoio e com profundidade de furo com no mínimo 8,0 metros [8].

A partir destas recomendações, percebe-se o quanto é complexa a investigação geológica e geotécnica para avaliar o terreno de apoio de uma ponte. O Quadro 2 apresenta os problemas típicos que ocorrem por falta de investigação do solo.

Quadro 2 – Principais tipos de patologias devido à ausência de investigação do solo

TIPOS DE FUNDAÇÕES	PROBLEMAS TÍPICOS DECORRENTES PELA AUSÊNCIA DE INVESTIGAÇÃO DO SOLO
<i>Fundações Diretas</i>	Tensões de contato excessivas, incompatíveis com as reais características do solo, resultando em recalques inadmissíveis ou ruptura.
	Fundações em solos/aterros heterogêneos, provocando recalques diferenciais.
	Fundações sobre solos compressíveis sem estudo de recalques, resultando em grandes deformações.
	Fundações apoiadas em materiais de comportamento muito diferente, sem junta, ocasionando o aparecimento de recalques diferenciais.
	Fundações apoiadas em crosta dura sobre solos mole, sem análise de recalques, ocasionando ruptura ou grandes deslocamentos da fundação.

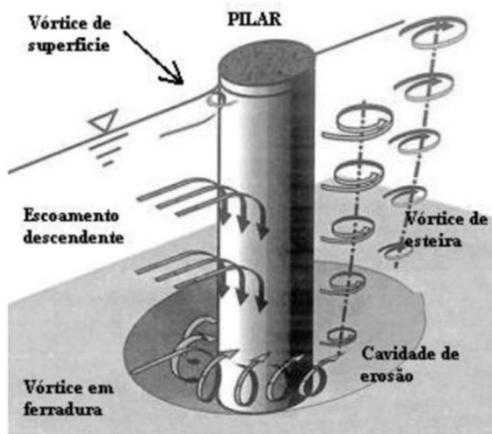
Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid [9]

2.1.2. Erosão ou solapamento

Sendo um dos problemas mais comuns encontrados em infraestruturas de pontes de concreto, a erosão é responsável pela maior parte de acidentes, podendo ocasionar o colapso da estrutura. Entender como funciona esse fenômeno é muito importante.

As localizações dos pilares, dos encontros e das fundações dentro da calha do rio interferem no curso de água. Estes elementos criam uma espécie de obstáculo, que faz com que a velocidade de escoamento da água aumente, provocando um vórtice e uma turbulência, causando cavidades de erosão junto a essas estruturas, o que pode gerar a infraescavação ou o solapamento das fundações (Figura 2). Esse fenômeno é agravado em períodos de cheias ou precipitações elevadas, comprometendo toda a estrutura da ponte, principalmente as mais antigas que, por terem sido construídas em leitos, com o tempo sofrem mudanças de perfil que não são detectadas, devido à falta de inspeções periódicas [10].

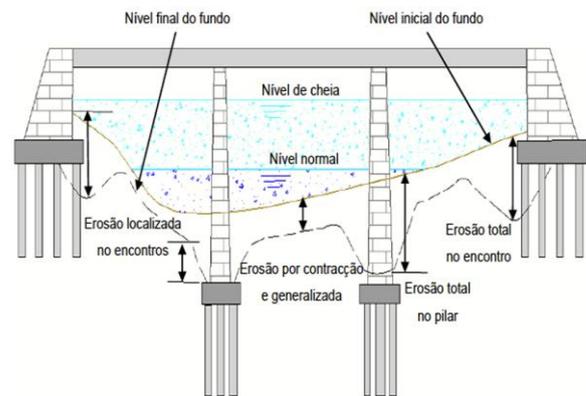
Figura 2 – Influência dos pilares no fluxo da água



Fonte: Cardoso apud Vitorio [10]

Segundo Patrício [11] o processo de erosão pode ser dividido em: erosão generalizada, localizada ou por contração (Figura 3). Além da classificação acima, as erosões podem ser causadas por fatores antropogênicos.

Figura 3 – Tipo de erosões em pontes



Fonte: Patrício [11]

A erosão generalizada acontece independente da presença dos pilares e fundações. É gerada devido aos fenômenos naturais, como assoreamento e desassoreamento do leito do rio, se na trajetória que a água percorre há existência de curvas, configuração do fundo do rio, etc.

Erosão localizada ocorre quando há um obstáculo que interfere no escoamento normal do rio, provocando a retirada dos sedimentos, ocasionando cavidades de erosão.

Erosão devido à contração acontece quando há o estreitamento da seção transversal de escoamento, ocasionando um aumento da velocidade média e intensidade da erosão, devido ao escoamento.

Erosão devido aos fatores antropogênicos tem relação direta às mudanças provocadas pelo homem no leito e nas bacias hidrográficas dos rios, como, por exemplo, a criação de cidades e comércio nas margens dos rios, o que ocasionou a canalização dos seus afluentes, originando instabilidade e os deixando mais propensos à erosão.

2.1.3. Degradação dos materiais

Pelo fato das fundações serem executadas com concreto armado, é importante citar as patologias inerentes aos materiais. A degradação do concreto pode ser motivada por processos de natureza: física, química, mecânica e eletroquímica, o que reduz sua durabilidade gerando um dano progressivo a estrutura.

A maioria destes processos tem relação direta com porosidade e/ou permeabilidade do material, permitindo que uma combinação de fatores como temperatura, umidade, chuva, vento, salinidade, agressividade química, sejam transportados para dentro do concreto [12]. Sabe-se que a água é um dos principais causadores dos processos de degradação, pois ela serve como veículo para transporte dos agentes agressivos, para reduzir a permeabilidade do concreto, além de ser a principal defesa contra qualquer processo físico-químico de deterioração [9] Quanto mais permissivo for o concreto ao transporte de água, gases e outros tipos de agentes agressivos, a probabilidade de ocorrer a degradação do concreto e do aço, que o mesmo deveria proteger, aumentará [9].

O Quadro 3 (Anexo A) apresenta de maneira sintetizada as principais degradações e seus sintomas [13].

2.1.4. Execução das fundações

A preocupação com os processos construtivos pode evitar uma redução significativa das patologias, nessa etapa é primordial uma fiscalização para que seja executado exatamente o que está previsto em projeto. Os problemas na execução das fundações podem estar relacionados a diversos fatores, que vão desde a inexperiência dos profissionais envolvidos a limitações tecnológicas e de equipamentos [14].

Alguns problemas relacionados à execução por Milititsky, Consoli e Schnaid [9] são:

Problemas envolvendo o solo – construção das fundações em solos com diferentes comportamentos, típicos de situações onde há desníveis de terreno, onde o material é retirado de um lado e aterrado em outro para que as fundações sejam construídas na mesma cota; substituição do solo com uso de material inapropriado ou sem a compactação necessária, a fim de substituir solos deficientes e realizar fundações superficiais;

Problemas envolvendo os elementos estruturais da fundação – uso de concreto com valor de tensão característica inferior ao previsto em projeto; inexistência de regularização da base da fundação com lastro de concreto magro, podendo ocasionar na contaminação do concreto e recobrimento inadequado; execução das fundações com dimensões e geometria divergentes ao previsto em concreto; presença de água na cava durante a concretagem, o que pode vir a causar a diminuição da resistência da peça, etc.

2.2. Reforço

O reforço estrutural em fundações é uma medida de correção no sistema de interação fundação-estrutura já existente, visando recuperar segurança, melhorar seu desempenho e/ou atender novas solicitações. Tornam-se necessárias quando as fundações existentes apresentam mau funcionamento, não suportando as cargas atuantes ou, quanto ocorrer um aumento relativo do carregamento e este não puder ser sustentado sem que ofereça riscos e haja o comprometimento da estrutura, aparecendo deformações incompatíveis, causando uma minora aos coeficientes de segurança [15]. Tavares [16] ressalta, também, a necessidade de reforço quando há mudança das características do terreno, como rebaixamento do lençol freático, descompressão do solo, arrastamento dos finos ou uma combinação dos fatores supracitados.

Os agentes causadores de reforço em fundações de pontes estão frequentemente relacionados à capacidade resistente do terreno. As razões que geram a necessidade de reforçar a infraestrutura desse tipo de obra de arte são: a insuficiência do terreno para atender o aumento de solicitações transmitido; anomalias devido à falta de resistência da estrutura; o fenômeno de infraescavação da fundação, geralmente relacionado aos regimes de escoamento ou os cursos dos rios; problemas devidos à inadequação dos materiais utilizados na construção das fundações, para atender as situações as quais

são expostos e, conseqüentemente, a degradação ou erosão destes [17].

Os danos gerados pela ineficiência das fundações podem ser observados diretamente na própria fundação, devido à degradação dos seus materiais, e, decorrente a isso, a perda de sua resistência. No caso do concreto armado, podem ocorrer deformações excessivas, perda de recobrimento do aço, oxidação da armadura, roturas, fissuras, trincas, esmagamentos, entre outros [15].

Reforçar as fundações de uma ponte existente significa uma atividade bastante complexa, pelo fato de envolver uma série de incertezas quanto à real capacidade de carga de tais estruturas, muitas vezes dimensionadas há várias décadas, com a utilização de normas já ultrapassadas e ainda calculadas para suportar carregamentos atualmente defasados. A tais problemas ainda devem ser acrescentados o desconhecimento sobre o projeto original e as dificuldades para a realização de inspeções e ensaios sobre a resistência de materiais enterrados e/ou submersos. [18, pg.40]

É fundamental que o diagnóstico do problema seja preciso, para que escolha do tipo de solução seja a mais adequada possível. Para realizar um bom diagnóstico, é importante registrar os danos ocorridos para possível interpretação dos movimentos das fundações, elaborar uma nova investigação geotécnica e instrumentar a obra para avaliar a intensidade das deformações.

É comum a carência de dados sobre as fundações das construções existentes. A geometria, composição e propriedades dos seus elementos, assim como do terreno de apoio são informações primordiais para uma escolha apropriada do tipo de reforço.

Para solucionar essa problemática, é comum a execução de poços de inspeção (Figura 4), com os tamanhos apropriados para acesso e livre movimento de um homem, que possibilitam observar, além da fundação existente, o tipo de solo mais superficial. Este método de prospecção é o mais eficiente. Por meio deste procedimento, é possível a

inspeção visual direta das fundações, seu estado de conservação e as anomalias, como desagregações de material, o que facilita a compreensão das deficiências comportamentais e podem explicar as causas das patologias da estrutura [14].

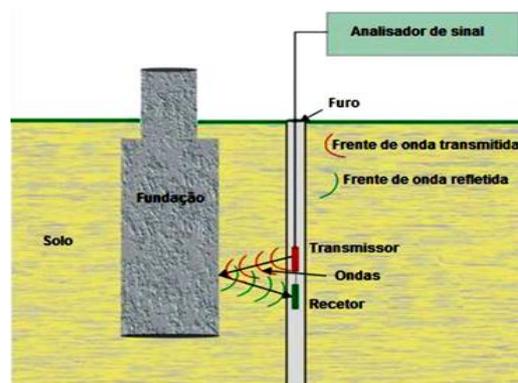
Figura 4 – Poço de Inspeção



Fonte: Sondobase Geotecnia e Meio Ambiente (SD) [19]

Caso não seja possível executar esses poços, por motivos de segurança ou por qualquer outro tipo de dificuldade, pode-se recorrer a outros tipos de procedimentos de prospecção geofísica como, por exemplo, o uso de georadares em furos (Figura 5), uma técnica não destrutiva baseada na emissão e na recepção de radiação eletromagnéticas, que permite detectar com exatidão a localização e a espessura das sapatas [20]. Porém, esse método investigativo não permite a retirada de amostras do solo, tornando a interpretação dos resultados mais difícil ou até mesmo inconclusiva [14].

Figura 5 – Georadar



Fonte: Magalhães [14]

A escolha do tipo de reforço a ser adotado, segundo Hachich [15], depende de algumas condicionantes, que serão analisadas a seguir:

Condicionantes técnicas – deverá haver uma compatibilização entre as condições do solo, estrutura e reforço.

Condicionantes Econômicas – é importante verificar a viabilidade econômica do reforço, ou seja, se o valor de mercado da construção é compatível com reforço a ser executado.

Condicionantes relacionadas à execução e segurança – se é possível o acesso seguro dos profissionais e dos equipamentos para realização do reforço.

Segundo Tavares [16], essas técnicas exigem dos profissionais envolvidos um conhecimento multidisciplinar, ter um *Know-how* apurado em estruturas, e senso crítico para interpretar os parâmetros geotécnicos.

2.2.1. Tipos de Reforço

A escolha do tipo reforço está diretamente relacionada às condicionantes do problema em questão. São inúmeras as técnicas existentes atualmente, dentre elas há a possibilidade de escolha por uma técnica com aprofundamento ou sem aprofundamento.

Caso a escolha seja um método com aprofundamento, pode se optar pela transformação das fundações superficiais em fundações profundas, transformando as sapatas em blocos de coroamento. Caso contrário, a solução pode ser dada pelo: alargamento das fundações, de maneira que a sua área de contato com o solo seja maior e, assim, diminua as tensões, ou, pelo melhoramento do solo a partir de injeções.

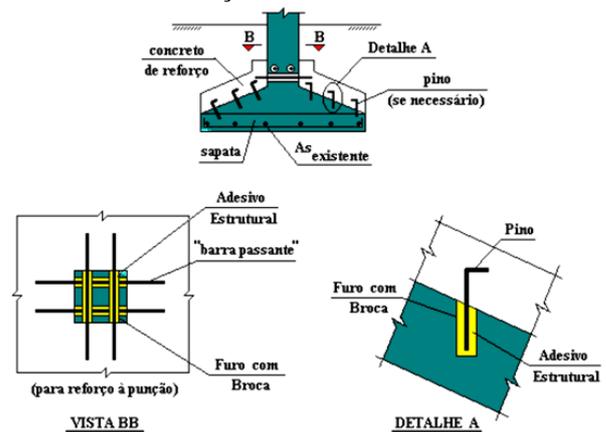
2.2.1.1. Alargamento das fundações

Quando o solo da base da fundação não apresenta resistência satisfatória para sustentar as solicitações que lhe são impostas, pode optar-se pelo alargamento da área de contato solo-fundação. Este procedimento, em geral, somente é aplicável às fundações

superficiais. Tem como principal vantagem sua facilidade de execução e seu custo reduzido, quando comparado a outros tipos de soluções.

Há ocasiões em que o reforço consiste em aumentar a seção do concreto, sem a necessidade de alterar as dimensões da base da sapata, conforme figura 6. Essa técnica é utilizada para solucionar problemas relacionados à flexão, punção e cisalhamento. A aderência entre o concreto antigo e o novo é primordial, usualmente adota-se a colocação de pinos para garantir que essa união. Sugere-se que, nos casos de reforço a punção seja feita a ligação do concreto com o pilar através de barras que, ao atravessar os pilares, realizam essa conexão [21].

Figura 6 - Reforço de sapatas com aumento da seção de concreto



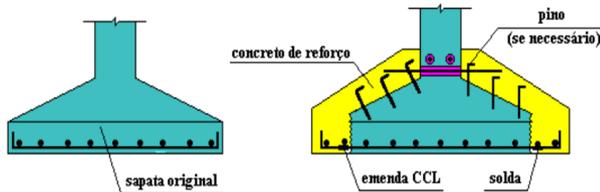
Fonte: Piancastelli [21]

Para conservar ou reduzir os níveis de tensão no solo, se faz necessário o aumento de altura e da área da sapata com o prolongamento da armadura (Figura 7 e 8), que pode ser feito através da escarificação das bordas da sapata até expor, aproximadamente, quinze centímetros de um trecho reto das barras para soldagem ou colocação das luvas (tipo CCL) e para que sejam atendidas as novas solicitações, diminuindo e/ou estabilizando os recalques não previstos gerados pela ineficiência dos elementos de fundação [20].

Segundo Amorim [17], quando se refere a reforços de pontes, esta solução apresenta algumas limitações, como, por exemplo, o leito do rio deve ser reduzido, no momento de

intervenção, de modo a permitir acesso à base das fundações superficiais. Desse modo, e dada à tecnologia disponível hoje em dia, não se recorre atualmente a este método.

Figura 7 - Reforço através do aumento e alargamento da base da sapata



Fonte: Piancastelli [21]

Figura 8 - Exemplo de execução do alargamento da sapata



Fonte: Magalhães [14]

2.2.1.2. Jet Grouting

Historicamente, a técnica de Jet Grouting teve seu início entre as décadas de 60 e 70, no Japão, e começou a ser aplicada no Brasil em 1980 [22]. Tem como característica principal o fato de utilizar injeções de calda de cimento, com alta pressão para desagregar o solo, modificando e aprimorando todas as propriedades geotécnicas originais do terreno, sem que haja a necessidade de escavação prévia.

As injeções, que podem contar ou não com a utilização de água e/ou ar comprimido, são realizadas através de bicos com diâmetros de 2 a 4 mm, localizados na lateral da extremidade de uma composição de hastes, que sobem lentamente em direção a superfície, enquanto realizam um movimento de rotação com velocidade constante. A pressão das injeções atinge em torno de 20 a 50 Mpa e utilizam um ou mais jatos horizontais que podem alcançar à velocidade de até 400m/s [23]. A energia cinética,

resultante da injeção, provoca a desagregação da estrutura do solo, que ao ser misturada com calda de cimento, formam uma espécie de corpos sólidos de solo-cimento, que se assemelham a cilindros e são chamados de colunas de jet grouting, resultando um terreno com melhores características mecânicas e de menor permeabilidade.

O jet grouting é uma prática que pode ser usada para reforçar qualquer tipo de fundações, com exceção das que são muito sensíveis a deslocamentos e cuja carga é transmitida às colunas, antes que estas alcancem a resistência definida em projeto. Em fundações superficiais pode ser utilizado como solução para transferência das cargas para uma camada de solo mais profunda.

Dada a sua gama de aplicações, o jet grouting pode ser utilizado em diversos tipos de construções, como túneis, aterros, reforços de fundações já existentes, pontes, cortinas de contenção, rodovias, entre outros. Tem como diferencial a possibilidade de aplicação em qualquer tipo de solo, inclusive os com valores NSPT inferiores a 30.

No entanto, sua aplicação não é recomendada se o terreno apresenta: solos orgânicos com pH inferior a 5, em virtude da sua agressividade e potencial de degradação da calda; solos muito compactos, pois apresentam dificuldade de execução e pouca eficiência; e em solos com granulometrias muito abertas, devido à dificuldade de se obter uma mistura homogênea e balanceada entre os agregados e o cimento, e pela facilidade de percolação da calda. [17]

Esta técnica é cada vez mais utilizada como método de reforço de fundações, oferecendo excelentes resultados. Ao ser comparada com outras tecnologias, demonstra bastante competitividade devido à versatilidade geométrica, abrangência de aplicação, não sendo preciso realizar escavações, e sua capacidade de realizar trabalhos em locais com dificuldade de acesso e espaços reduzidos. Somando-se a isso, tem como benefícios: seus equipamentos, que podem ser pequenos e não muito pesados além de oferecer vibrações mínimas, o que

garante que uma probabilidade reduzida de causar danos na estrutura em intervenção ou nas estruturas vizinhas [14]. Como pode ser observado na Figura 9 (em ANEXO A).

2.2.1.3. Transformação das fundações diretas em indiretas

Quando as técnicas de reforço de fundação por melhoramento do solo ou aumento da área não podem ser viabilizadas, devido insuficiência do terreno ou até mesmo por questões econômicas, recorre-se a este tipo de solução a fim de transferir as cargas para uma camada de solo mais resistente [24].

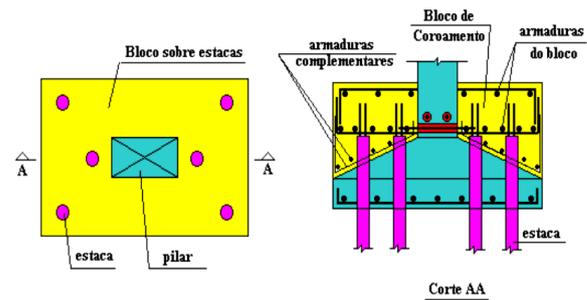
Basicamente, esse método consiste em transformar uma fundação superficial em um bloco de coroamento e, para isso, geralmente, são utilizadas as estacas perfuradas como, por exemplo, estacas raiz. Aproveita-se o mesmo equipamento de perfuração para perfurar o concreto da sapata original.

Geralmente, adota-se a utilização de estacas do tipo raiz, por serem mais convenientes à cravação e não apresentarem problemas, caso haja a necessidade de movimentação dos equipamentos sob a estrutura ou restrições na altura entre as fundações e o tabuleiro da ponte. Cabe ressaltar que outros tipos de estacas exigem grandes equipamentos, não atendendo o espaço útil [3].

Para o dimensionamento do bloco de coroamento deve ser levado em consideração o corte de algumas barras de aço, durante a perfuração da sapata.

O outro fator que precisa ser levado em consideração é a garantia da ligação entre o concreto das estacas e o da sapata existente, sendo este o ponto mais vulnerável deste tipo de reforço. Para tal, é utilizado como solução armaduras complementares e uma nova armadura para o bloco de coroamento, conforme observado na Figura 10, concomitante ao uso das armaduras recomenda-se também o emprego de adesivos estruturais [21].

Figura 10 - Reforço de sapata por cravação de estacas



Fonte: Piancastelli [21]

3. Conclusão

Após a análise das principais patologias em fundações de pontes de concreto armado, pode-se concluir que algumas manifestações patológicas poderiam ser evitadas ainda na fase de projeto, como é o caso das investigações geotécnicas. O desconhecimento das características do solo pode gerar uma enorme gama de consequências negativas para as fundações, que poderiam ser evitados com um estudo preciso das sondagens.

Percebe-se também que o valor gasto com reforço cresce exponencialmente, na medida em que é adiado. Inspeções periódicas poderiam evitar que esse aumento ocorresse, pois seriam verificados os problemas assim que eles começassem a repercutir na estrutura.

Devido à complexidade em reforçar a infraestrutura de uma ponte de concreto armado, foram abordadas as principais técnicas de reforço.

Estudos pertinentes às cheias dos rios e o fluxo das águas são de suma importância para este tipo de obra, patologias provocadas por uma ação da natureza, são mais difícil de ser prevista.

Tendo em vista todo conteúdo exposto, pode-se verificar que para superar tais questões, é necessário seguir todos os procedimentos normativos para execução dos projetos, respeitando o tempo necessário de execução e realizando os investimentos pertinentes a manutenção desse tipo de estrutura.

4. Referências

- [1] VITÓRIO, J. A. P., BARROS, R.M.M.C. Reforço de Fundações de Pontes e Viadutos – Três Casos Reais – Anais do V Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2012.
- [2] MARINHO, R. P. Patologia das Fundações: Estudos de Caso. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, 13ª Edição, n. 012, v.01/2017, Julho/2017. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=rafaella-pereira-marinho-31416163.pdf> Acessado em: 01/06/2019
- [3] VITÓRIO, J. A. P. ; BARROS, R.M.M.C. Análise dos danos Estruturais e das Condições de Estabilidade de 100 Pontes Rodoviárias no Brasil – Anais do 3º Congresso Nacional Sobre Segurança e Conservação de Pontes, Porto, Portugal, 2013.
- [4] VITÓRIO, J. A. P. Avaliação do Grau de Risco Estrutural de Pontes Rodoviárias de Concreto – Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, 2008.
- [5] REBELLO, Y. C. P. Fundações: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4ª Edição. São Paulo: Zigurate Editora, 2008.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6122 – Projeto e execução de fundações, 2ª Edição. Outubro 2010.
- [7] BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Manual de projeto de obras-de-arte especiais. Rio de Janeiro, 1996.
- [8] VITÓRIO, J. A. P. Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. Recife: CREA-PE, 2002.
- [9] MILITITSKY, J. ; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. Patologia das Fundações, 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.
- [10] VITÓRIO, J. A. P. Erosões nas fundações e aterros de acesso – Ação das cheias sobre as estruturas das pontes. Notas de aula, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2015
- [11] PATRÍCIO, L. I. E. Influência das erosões localizadas no comportamento de estacas em encontros de pontes: Caso de estudo. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2012.
- [12] SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.
- [13] SANTOS, M.R.G. Deterioração das estruturas de concreto armado – Estudo de caso. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2012.
- [14] MAGALHÃES, D. Sistemas construtivos de reabilitação e reforço de fundações, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2014.
- [15] HACHICH, W. at al. Fundações: Teoria e prática. 2ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 1998.
- [16] TAVARES, L. S. N. Reforço Estrutural de Fundações e sua Importância para a Reabilitação e Conservação do Patrimônio Histórico – Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- [17] AMORIM, M. O. Reforço de fundações de pontes antigas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2015.
- [18] VITÓRIO, J. A. P. Pontes e viadutos rodoviários – Conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural. Notas de aula, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

- [19] SondoBase Geotecnia e Meio Ambiente, sd. Disponível em: <http://www.sondobase.com.br/nossos-servicos> Acesso em 01 de junho de 2019.
- [20] COSTA, I. I. M. Consequências de deficientes sistemas de fundação em edifícios. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2015.
- [21] PIANCASTELLI, E. M. Notas de Aula Patologia e Terapia das Estruturas: Reforço com Concreto. Universidade Federal de Minas Gerais, sd.
- [22] RIBEIRO, A. L. S. Técnica de tratamento de solos – Jet Grouting: Acompanhamento de um caso real de estudo – Cais de Santa Apolónia e Jardim do Tabaco. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2010.
- [23] CARLETTO. M. F. W. Jet Grouting (Sistema Monofluido): Um método teórico simplificado para previsão do diâmetro das colunas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.
- [24] NEVES, M.J.N. Técnicas de Recalçamento e Reforço de Fundações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2010.

5. Anexos

ANEXO A

Quadro 3 – Causas, mecanismo e sintomas da deterioração do concreto armado

CAUSA DA DETERIORAÇÃO	MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO		SINTOMAS	AFETA DIRETAMENTE
MECÂNICA	CHOQUES E IMPACTOS		Fissuração e lascamento do concreto; possível perda de armadura	Peça estrutural (concreto + armadura)
	RECALQUE DIFERENCIAL DAS FUNDAÇÕES			
	ACIDENTES IMPREVISÍVEIS			
FÍSICA	DESGASTE SUPERFICIAL	ATRITO	Desgaste superficial do concreto	Concreto
		ABRASÃO EROSÃO		
	CAVITAÇÃO		Fissuração e escamamento do concreto	Concreto
	CRISTALIZAÇÃO DE SAIS NOS POROS DO CONCRETO			
	RETRAÇÃO HIDRÁULICA DO CONCRETO FRESCO	ASSENTAMENTO PLÁSTICO	Fissuração do concreto	Concreto
RETRAÇÃO PLÁSTICA				
GRADIENTE TÉRMICO	RETRAÇÃO TÉRMICA	Fissuração do concreto	Concreto	
	DILATAÇÃO TÉRMICA			
AÇÃO DO FOGO (INCÊNDIO)		Fissuração; desidratação da pasta de cimento; expansão dos agregados; e desagregação do concreto; ruptura e colapso da armadura	Peça estrutural (concreto + armadura)	
QUÍMICA	REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO		Expansão e fissuração do concreto	Concreto
	HIDRATAÇÃO DOS ÓXIDOS DO CIMENTO MgO e CaO			
	ATAQUE POR SULFATOS		Decomposição química da pasta; despassivação do aço; expansão, fissuração, desintegração, perda de resistência e de massa do concreto	Concreto
	ATAQUE POR ÁCIDOS		Decomposição química, dissolução e lixiviação; ou decomposição química, expansão, fissuração e desagregação do concreto	Concreto (o HCl, por sua vez, ataca ambos - concreto e aço)
	ÁGUA PURA		Decomposição química, dissolução e lixiviação da pasta de cimento; eflorescência, estalactite e estalagmite	Concreto
	CARBONATAÇÃO		Redução progressiva do pH do concreto e despassivação do aço, abrindo caminho para a corrosão do aço	Inicialmente o concreto; posteriormente o aço
	ATAQUE POR CLORETOS		Despassivação do aço; posteriormente, corrosão das armaduras (processo eletroquímico)	Inicialmente o aço; posteriormente o concreto
ELETROQUÍMICA	CORROSÃO DAS ARMADURAS		Deterioração e perda de seção do aço; perda da aderência aço-concreto; expansão, fissuração e lascamento do concreto	Inicialmente o aço; posteriormente o concreto

Fonte: Santos (2012)

ANEXO B

Figura 9 – Causas, mecanismo e sintomas da deterioração do concreto armado

O processo de execução da técnica de jet grouting envolve as seguintes etapas:

