

Organização
Resiane Paula da Silveira

ENGENHARIA E INOVAÇÃO

Construção,
Gestão e
Produção



Editora
MultiAtual



Organização
Resiane Paula da Silveira

ENGENHARIA E INOVAÇÃO

Construção,
Gestão e
Produção



Editora
MultiAtual



© 2021 – Editora MultiAtual

www.editoramultiatual.com.br

editoramultiatual@gmail.com

Organizadora

Resiane Paula da Silveira

Editor Chefe: Jader Luís da Silveira

Editoração e Arte: Resiane Paula da Silveira

Capa: Freepik/MultiAtual

Revisão: Respective autores dos artigos

Conselho Editorial

Ma. Heloisa Alves Braga, Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, SEE-MG

Me. Ricardo Ferreira de Sousa, Universidade Federal do Tocantins, UFT

Me. Guilherme de Andrade Ruela, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF

Esp. Rícael Spirandeli Rocha, Instituto Federal Minas Gerais, IFMG

Ma. Luana Ferreira dos Santos, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Ana Paula Cota Moreira, Fundação Comunitária Educacional e Cultural de João Monlevade, FUNCEC

Me. Camilla Mariane Menezes Souza, Universidade Federal do Paraná, UFPR

Ma. Jocilene dos Santos Pereira, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Esp. Alessandro Moura Costa, Ministério da Defesa - Exército Brasileiro

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Dra. Haiany Aparecida Ferreira, Universidade Federal de Lavras, UFLA

Me. Arthur Lima de Oliveira, Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do RJ, CECIERJ

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S587e Silveira, Resiane Paula da
Engenharia e Inovação: Construção, Gestão e Produção / Resiane Paula da Silveira (organizadora). – Formiga (MG): Editora MultiAtual, 2021. 105 p. : il.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-89976-19-6

DOI: 10.5281/zenodo.5759179

1. Engenharia e Inovação. 2. Construção. 3. Gestão. 4. Produção. I. Silveira, Resiane Paula da. II. Título.

CDD: 620

CDU: 62

Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora MultiAtual

CNPJ: 35.335.163/0001-00

Telefone: +55 (37) 99855-6001

www.editoramultiatual.com.br

editoramultiatual@gmail.com

Formiga - MG

Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

AUTORES

**ANNA CAMILA VIEIRA RIBEIRO
ANTÔNIO ACÁCIO DE MELO NETO**

DANIEL MORAES SANTOS

HEWERTON BARTOLI

LEONARDO FAGUNDES ROSEMBACK MIRANDA

LORENA DURAU CARLOTO DOS SANTOS

MARCOS AUGUSTO MENDES MARQUES

MARIA ELIZA CASAGRANDE LAZZARETTI

MAYLANE GONÇALVES RODRIGUES

MICHAEL DOWGLAS DE GOIS SILVA

MILTON BATISTA FERREIRA JUNIOR

NATHÁLIA CUNHA RUBIN

ROSANE OLIVO MENEGON

RUTH M. HOFMANN

SANDILEIA RECALCATTI

THAÍSA MARIANA SANTIAGO ROCHA

VANESSA VOGT

APRESENTAÇÃO

Uma ciência tão antiga quanto a própria civilização, a engenharia acompanha a humanidade desde o princípio de sua evolução. A profissão foi fundamental para criar a sociedade como conhecemos atualmente. Então associada a outras ciências, permitiu que o homem saísse de condições nômades para fixar-se em uma local, evoluindo com o uso de recursos naturais. Essas criações que mudaram o rumo da sociedade como: alavancas, moinhos e polias, formaram a base técnica de inúmeras outras invenções mais complexas e são fruto do estudo dessa profissão.

Sendo assim, podemos descrever a engenharia como a utilização de conceitos teóricos e habilidades técnicas para o desenvolvimento. Seja de máquinas, edificações ou quaisquer outras formas de melhorar e facilitar a vida da sociedade.

A Engenharia está diretamente ligada ao desenvolvimento de uma nação. Sua valorização vem aumentando com o passar dos anos e, nos países emergentes, como o Brasil, torna-se um ponto chave no caminho para o progresso, pois oferece a possibilidade de ampliação de infraestruturas do país para a melhoria dos serviços prestados à sociedade e a resolução de problemas econômicos e sociais.

Os diferentes segmentos da Engenharia e entre os mais conhecidos estão as engenharias civil, elétrica, mecânica, de produção e química, possibilitam o exercício de diversas áreas como planejamento, gestão de processos e produtos e desenvolvimento de tecnologias, o engenheiro tem uma atuação universal. A Engenharia é uma profissão que utiliza da sua ciência para proporcionar, com responsabilidade, o desenvolvimento da sociedade a partir de estudo, planejamento e análise de projetos.

Em um mundo no qual as mudanças acontecem de forma rápida, e os recursos naturais são cada vez mais escassos, a engenharia tem papel importante para diminuir o impacto das adversidades climáticas e na preservação do meio ambiente. Isso só é possível graças às pesquisas e desenvolvimento de novos produtos de tecnologia verde.

SUMÁRIO

Capítulo 1

ESTUDO DE CASO: ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS E ECONOMIA COM A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS CLASSE A

8 *Leonardo Fagundes Rosembach Miranda; Lorena Durau Carloto dos Santos; Sandileia Recalcatti; Vanessa Vogt*

Capítulo 2

A CARGA HORÁRIA DE FINANÇAS PARA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: UMA ANÁLISE EM CURSOS PÚBLICOS DO BRASIL

24 *Maria Eliza Casagrande Lazzaretti; Ruth M. Hofmann; Marcos Augusto Mendes Marques*

Capítulo 3

ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM INSERÇÃO DE POLI-TEREFTALATO DE ETILENO (PET): UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

39 *Nathália Cunha Rubin; Rosane Olivo Menegon; Michael Dowglas de Gois Silva; Milton Batista Ferreira Junior*

Capítulo 4

CONTROLE DE UMIDADE DA CURA DO CONCRETO OU ARGAMASSAS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO

59 *Anna Camila Vieira Ribeiro; Maylane Gonçalves Rodrigues; Daniel Moraes Santos*

Capítulo 5

RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO BRASIL: O QUE DEVE SER FEITO PARA O SETOR CRESCER?

73 *Leonardo Fagundes Rosembach Miranda; Hewerton Bartoli; Vanessa Vogt; Thaísa Mariana Santiago Rocha; Antônio Acácio de Melo Neto*

101

Biografias

CURRÍCULOS DOS AUTORES

Capítulo 1

ESTUDO DE CASO: ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS E ECONOMIA COM A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS CLASSE A

Leonardo Fagundes Rosembach Miranda

Lorena Durau Carloto dos Santos

Sandileia Recalcatti

Vanessa Vogt





ESTUDO DE CASO: ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS E ECONOMIA COM A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS CLASSE A

Leonardo Fagundes Rosembach Miranda

Doutor em Engenharia Civil- USP, Mestre em Engenharia Civil- USP, Graduado em Engenharia Civil, reciclagem.miranda@gmail.com

Lorena Durau Carloto dos Santos

Acadêmica do Mestrado em Engenharia Civil- UFPR, Especialista em Gerenciamento de Obras- UTFPR, Graduada em Engenharia Civil, lorena.carloto@gmail.com

Sandileia Recalcatti

Acadêmica de Mestrado em Engenharia Civil - UTFPR, Graduada em Engenharia Civil, rsandileia@gmail.com

Vanessa Vogt

Mestre em Engenharia Civil pela UFPR, Graduada em Tecnologia da Construção Civil, vogt.vanessa@gmail.com

RESUMO

A indústria da construção civil gera grandes quantidades de resíduos. Tornar a temática do reuso e reciclagem desses resíduos uma pauta reconhecida e adotada pelos construtores contribui com a redução do dano ambiental causado pelas obras, bem como com a viabilidade econômica das edificações, uma vez que há redução de gastos com as caçambas que seriam usadas no processo de destinação dos resíduos (caso não fossem aproveitados na própria obra) e na compra de agregados naturais, podendo até haver redução do consumo de cal em argamassas. Este trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo de caso a respeito de reuso e reciclagem de resíduos classe A em uma obra de construção civil. Foi realizada uma estimativa dos resíduos a serem gerados nesta obra e apresentadas propostas de aplicação dos agregados reciclados, a partir do orçamento e do cronograma. Trata-se da construção de um Centro Municipal de Educação Infantil (CMEI), localizado em Cascavel/PR, de aproximadamente 450 m², por uma construtora licitada pelo setor público. São apresentadas alternativas para que os resíduos classe A não sejam descartados, mas sim reutilizados ou reciclados por meio de um moinho, considerando-se que a



construtora já possuía esse equipamento. Caso os resíduos classe A fossem reutilizados na própria obra, estima-se uma economia de aproximadamente 4% no valor global, enquanto que a economia teórica obtida pela diminuição da compra de agregados naturais foi correspondente a cerca de 20% ou 761,89 R\$/m² de obra.

Palavras-chave: Resíduos. Construção. Reciclagem. Reuso. Agregados reciclados.

ABSTRACT

The construction industry generates large amounts of waste. Making the theme of reuse and recycling of these wastes an agenda recognized and adopted by builders contributes to the reduction of environmental damage caused by the works, as well as to the economic viability of the buildings, since there is a reduction in expenses with the buckets that would be used in the waste disposal process (if they were not used in the work itself) and in the purchase of natural aggregates, and there may even be a reduction in the consumption of lime in mortars. This work aims to present a case study about the reuse and recycling of class A waste in a civil construction work. An estimate was made of the waste to be generated in this work and proposals for the application of recycled aggregates were presented, based on the budget and schedule. It is the construction of a Municipal Children's Education Center (CMEI), located in Cascavel/PR, measuring approximately 450 m², by a construction company tendered by the public sector. Alternatives are presented so that class A waste is not discarded, but rather reused or recycled through a mill, considering that the construction company already had this equipment. If class A waste were reused in the work itself, it is estimated a savings of approximately 4% in the overall value, while the theoretical savings obtained by the reduction in the purchase of natural aggregates corresponded to about 20% or 761.89 R\$ /m² of work.

Keywords: Waste. Construction. Recycling. Reuse. Recycled aggregates.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil destaca-se por ser um dos setores econômicos mais importantes e influentes do Brasil, representando 3,9% do PIB brasileiro total (IBGE, 2018). Mas, devido a seus processos construtivos, essencialmente manuais, o setor torna-se um potencial gerador de resíduos (NAGALLI, 2014).

Conforme a Circle Economy (2019), as construções, em conjunto com a manutenção do ambiente urbano, representam, aproximadamente, 50% do consumo global de materiais e 20% das emissões globais de Gases Efeito Estufa (GEE).

Jiménez-Rivero e García-Navarro (2017), em seu estudo envolvendo membros da União Europeia (UE), verificaram que cerca de 10 a 15% dos materiais de construção são desperdiçados e 54% dos resíduos de demolição são descartados em



aterros. De acordo com Saéz e Osmani (2019), as atividades de construção e demolição na UE geram cerca de 850 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) por ano.

Na China, o rápido desenvolvimento da indústria da construção favoreceu a produção de 2,4 bilhões de toneladas de RCD em 2015. Essa geração de resíduos sem uma gestão eficiente utilizou de forma demasiada os recursos terrestres e destruiu habitats naturais (DUAN et al., 2020).

A indústria da construção civil costuma ser um dos três principais setores econômicos dos países em desenvolvimento, especialmente por sua capacidade de fomentar a economia e gerar empregos e renda (KOLAVENTI et al., 2019). No Brasil, apesar dos efeitos negativos da pandemia provocada pela COVID-19, o segmento empregava cerca de 6 milhões de pessoas em 2020.

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), aponta que em 2018 os municípios coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCD descartados, em sua maioria, em vias e logradouros públicos, o que representa 36% do total de resíduos sólidos urbanos.

Os relatórios apontam que, do total descartado, 690 mil m³ foram encaminhados para a reciclagem, tratando-se de apenas 2% da geração estimada de RCD (IBGE, 2015), apesar de relatórios da Abrecon apresentarem um percentual bem maior. O baixo percentual de reciclagem no Brasil indica que pequenos e grandes geradores descartam seus resíduos de forma inadequada, causando graves impactos ambientais (SANTOS et al., 2021).

Consomem-se grandes quantidades de matéria-prima e geram-se grandes volumes de resíduos na execução das obras. Os principais resíduos tratam-se, principalmente, de blocos de concreto, argamassa, tijolos, concreto simples e concreto armado, cerâmica, gesso e madeira (BOTERO et al., 2016).

Uma das possibilidades para que se reduzam os problemas ambientais decorrentes da produção de resíduos é a proposta de reuso e reciclagem desses materiais dentro das próprias obras ou, ainda, de processos recicladores em usinas específicas para esse fim, que comercializem seus produtos.



É muito comum, em vários países, os agregados reciclados serem usados na constituição de bases e sub-bases de pavimento. Entre as principais causas de dificuldades de venda do agregado reciclado estão a inexistência de legislação que incentive o consumo desse material, a elevada carga tributária e a falta de conhecimento do mercado.

METODOLOGIA

Este trabalho utilizou dados de uma obra real, pública e licitada, construída por uma empresa privada, com início das atividades no ano de 2021. Trata-se de um Centro Municipal de Educação Infantil (CMEI), com área aproximada de 450 m², localizado na cidade de Cascavel/PR.

Como dados principais, foram utilizados os documentos referentes ao cronograma físico-financeiro e planilha orçamentária.

Foram considerados os itens principais da planilha orçamentária para cálculo da quantidade de resíduos gerada por cada etapa da obra e os percentuais de perdas conforme indicações da literatura, Ubiraci (2004) e Pinto (1989), tabela 1. Devido à grande extensão da tabela, é apresentada aqui apenas parte da planilha orçamentária.

Tabela 1- Percentuais de perdas e quantitativos de materiais da obra

Discriminação do serviço	Unid	Qtd	Material	Classe do resíduo	% Perda	Massa unitária reciclado (kg/m³)	Perda (t)	Perda (m³)
CANTEIRO DE OBRAS								
Execução de escritório em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário e equipamentos	M²	7,26	Madeira	Classe B	100	230	0,060	0,260413043
Execução de almoxarifado em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, incluso prateleiras	M²	15,00	Madeira	Classe B	100	230	0,124	0,538043478
Execução de central de armadura e fôrmas em canteiro de obra, não incluso mobiliário e equipamentos.	M²	36,00	Madeira	Classe B	100	230	0,319	1,385217391
Execução de guarita em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário, com espaço para abrigo de EPI para visitantes externos	M²	3,75	Madeira	Classe B	100	230	0,031	0,13451087
Execução de refeitório em canteiro de obra em chapa de madeira compensada, não incluso mobiliário e equipamentos, atendendo integralmente as exigências da nr-18 (condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção)	M²	16,00	Madeira	Classe B	100	230	0,132	0,573913043



Após a verificação da quantidade de resíduos gerada por item e etapa da obra, foram agrupados os quantitativos conforme a classe a que pertencem de acordo com a Resolução Conama 307 (2002). Os resíduos classe A foram todos considerados como recicláveis na obra, em etapas posteriores, conforme análise estratégica do cronograma da obra.

Posteriormente ao levantamento da quantidade total de resíduos classe A da obra, foi estimada a economia gerada por evitar dispor esse material em caçambas e retirá-los do canteiro. Em seguida, foi estimada a economia gerada por se evitar a compra de agregado natural, considerando o uso de agregado reciclado no próprio canteiro de obras.

Considerou-se que os resíduos classe A seriam triturados com uso de moinho (não comprado especificamente para essa obra, mas que está em rodízio entre as obras da Construtora). Posteriormente, as misturas com agregados naturais seriam substituídas parcialmente por agregados reciclados, em argamassas para assentamento, emboço, vergas e contravergas.

Todo o procedimento de quantificação foi realizado a partir de planilhas eletrônicas do programa computacional Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realização dos levantamentos propostos, foram consideradas 17 macro-fases da obra, sistematizadas a seguir (figura 1).



Figura 1 - Fases da obra consideradas nos levantamentos



Fonte: Autores (2021)

Foi realizada a quantificação dos resíduos a partir da descrição considerada no orçamento da obra e das estimativas de perdas encontradas na literatura, por etapa. Identificaram-se os tipos de materiais obtidos como resíduo em cada descritivo, a classe desse resíduo (conforme Resolução nº 307 do Conama), percentual de perdas (conforme literatura), densidade do material reciclado, e calculadas as perdas totais.

Após a quantificação de resíduos gerados por item e etapa da obra, foram obtidos os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Total de resíduos gerados no canteiro, estimado considerando o percentual de perdas e a planilha orçamentária.

Canteiro de obras			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Madeira	0,959	t	B
Serviços preliminares			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Solo	97,660	m ³	A
Bloco cerâmico	1,689	m ³	A
Concreto	26,010	m ³	A
Aço	0,406	t	B
Muros de fechamento			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Solo	84,117	m ³	A



Bloco cerâmico	0,931	m³	A
Concreto	1,725	m³	A
Argamassa	0,844	m³	A
Madeira	0,756	t	B
Aço	0,067	t	B
Tinta	1,929	L	D
Rampa, escada e pórtico			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Solo	58,693	m³	A
Bloco cerâmico	4,255	m³	A
Concreto	1,259	m³	A
Argamassa	0,228	m³	A
Madeira	0,575	t	B
Aço	0,076	t	B
Tinta	0,541	L	D
Muro com gradil			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Solo	14,211	m³	A
Bloco cerâmico	0,301	m³	A
Concreto	0,350	m³	A
Argamassa	0,225	m³	A
Madeira	0,419	t	B
Aço	0,022	t	B
Tinta	0,514	L	D
Abrigo de resíduos			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Solo	8,644	m³	A
Bloco cerâmico	0,027	m³	A
Concreto	0,200	m³	A
Argamassa	0,064	m³	A
Madeira	0,080	t	B
Aço	0,007	t	B
Tinta	0,082	L	D
Implantação externa			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Concreto	60,368	m³	A
Tinta	0,122	L	D
Implantação interna			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Solo	7,401	m³	A
Bloco cerâmico	0,008	m³	A
Concreto	17,871	m³	A
Argamassa	0,119	m³	A
Madeira	0,405	t	B
Aço	-	t	B
Tinta	0,173	L	D
Instalações hidrossanitárias e pluviais			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Solo	61,240	m³	A



Concreto	0,020	m³	A
Cerâmica	0,133	m³	A
Madeira	0,037	t	B
Aço	0,010	t	B
Infraestrutura			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Solo	69,913	m³	A
Concreto	1,401	m³	A
Madeira	6,256	t	B
Aço	0,112	t	B
Superestrutura			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Concreto	1,112	m³	A
Madeira	9,363	t	B
Aço	0,146	t	B
Alvenaria e painéis			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Bloco Cerâmico	3,763	m³	A
Argamassa	0,147	m³	A
Pedra decorativa	1,060	m³	A
Gesso	0,304	m³	B
Revestimentos			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Argamassa	4,352	m³	A
Concreto	0,055	m³	A
Pedra decorativa	0,002	m³	A
Cerâmica	0,7575	m³	A
Madeira	2,363	t	B
Pinturas			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Argamassa	0,004	m³	A
Tinta	5,242	L	D
Coberturas			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Cerâmica	1,164	m³	A
Instalações hidrossanitárias e pluviais			
Material	Quantidade	Unidade	Classe
Bloco Cerâmico	0,039	m³	A
Tubo PVC	0,014	m	B

Fonte: Autores (2021)

Esquematizou-se uma tabela resumo, considerando as etapas da obra em questão, que informa, por classe, a quantidade total de resíduos produzidos:

**Tabela 3** - Quantidade total de resíduos gerados por classe

Tabela resumo - tipo de resíduo por fase da obra						
Fase	Classe A		Classe B		Classe D	
Canteiro de obras	-	-	0,96	t	-	-
Serviços preliminares	125,36	m ³	0,41	t	-	-
Muros de fechamento	87,62	m ³	0,82	t	1,93	L
Muros de arrimo	124,88	m ³	0,75	t	0,26	L
Rampa, escada e pórtico	64,43	m ³	0,65	t	0,54	L
Muro com gradil	15,09	m ³	0,44	t	0,51	L
Abrigo de resíduos	8,93	m ³	0,09	t	0,08	L
Implantação externa	60,37	m ³	-	-	0,12	L
Implantação interna	25,40	m ³	0,41		0,17	L
Instalações hidrossanitárias e pluviais	61,39	m ³	0,05	t	-	-
Infraestrutura	71,31	m ³	6,37	t	-	-
Superestrutura	1,11	m ³	9,51	t	-	-
Alvenaria e painéis	4,97	m ³	0,30	t	-	-
Revestimentos	5,17	m ³	2,36	t	-	-
Pinturas	0,00	m ³	-	-	5,24	L
Coberturas	1,16	m ³	-	-	-	-
Instalações hidrossanitárias e pluviais	0,04	m ³	-	-	-	-

Fonte: Autores (2021)

Resíduos de papel e plástico não foram considerados nos quantitativos, pois o foco deste trabalho são resíduos classe A. Esses resíduos configuram-se em embalagens dos insumos, por exemplo, categorizados como resíduos classe B, que podem direcionados a cooperativas ou associações.

O volume total estimado de resíduo classe A gerado na obra é de 657,24 m³, considerando-se solo, concreto, argamassa, cerâmica, pedras decorativas. Desse quantitativo, 523,66 m³ correspondem a solo; enquanto que 133,59 m³ são correspondentes a concreto, argamassa, cerâmica, pedras decorativas.

Para cada classe de resíduo, foi realizado um planejamento de destinação ou uso. Até serem utilizados, os resíduos podem ser acondicionados em baias cobertas



identificadas, que devem ser previstas na fase de concepção do layout do canteiro. Quanto a estipular um tempo exato “em espera” para a próxima utilização dos agregados reciclados, não é possível apurar devido à limitação observada no formato do cronograma original da obra.

Haveria a possibilidade de uso de grande parte do RCC classe A no mesmo momento de sua geração caso fosse considerada a substituição parcial do agregado natural em vários serviços, principalmente aqueles que requerem menor resistência.

Alternativas de destinação dos resíduos gerados na obra:

- resíduos classe A - solo: o volume de solo retirado do terreno poderá ser destinado a outras obras da construtora, para aterro e nivelamento topográfico;
- resíduos classe A - concreto, argamassa, cerâmica, pedras decorativas: esses materiais residuais poderão ser submetidos ao moinho, para que sejam britados e resultem em agregados reciclados, a serem utilizados na própria obra;
- resíduos classe B - plástico, papel, papelão e aço: pode ser firmada parceria com cooperativas ou catadores para comercialização;
- resíduos classe B - gesso: pode ser realizada substituição de 20% do gesso natural por resíduo com granulometria que não prejudique o acabamento do revestimento;
- resíduos classe D - tintas: volumes residuais podem ser utilizados para decoração lúdica dos espaços (pinturas de muros, parquinho).

Os agregados reciclados classe A produzidos em cada etapa foram redirecionados, conforme cronograma, para etapas subsequentes da execução (com exceção do solo):

- agregados reciclados produzidos na fase de serviços preliminares: podem ser utilizados no emboço do muro de fechamento;
- agregados reciclados produzidos na fase de muro de fechamento: podem ser utilizados no emboço do muro de arrimo, rampa e pórtico;
- agregados reciclados produzidos na fase de muro de arrimo: podem ser utilizados no emboço do muro de gradil e implantação externa;
- agregados reciclados produzidos na fase de rampa, escada e pórtico: podem ser utilizados no emboço da superestrutura;
- agregados reciclados produzidos na fase de muro com gradil: podem ser utilizados no emboço da superestrutura;



- agregados reciclados produzidos na fase de implantação externa e interna: podem ser usados em alvenaria e revestimentos - execução de contravergas (moldadas in loco), argamassa de assentamento e emboço;
- agregados reciclados produzidos na fase de instalações hidrossanitárias e pluviais e infraestrutura: podem ser usados na produção de argamassas de assentamento e revestimento de alvenarias, execução de contravergas (moldadas in loco), argamassa e chapisco/ emboço;
- agregados reciclados produzidos na fase de superestrutura e alvenaria: podem ser usados em revestimentos;
- agregados reciclados produzidos na fase de revestimentos, coberturas e instalações hidrossanitárias: podem ser usados em nivelamento externo.

Tratando-se dos custos entres os agregados naturais e agregados reciclados, verificou-se que os agregados reciclados custam cerca de 50 a 70% do valor dos agregados naturais.

A respeito da economia gerada pela dispensa de caçambas que fariam a destinação dos resíduos classe A, tem-se a Tabela 4, considerando:

- o valor médio de aluguel da caçamba com capacidade para 5 m³ como R\$ 320,00;
- fator de inchamento do solo (quando úmido): 1,2;
- empolamento de concreto, argamassa, cerâmica e pedras decorativas: 45% (fator 1,45).

Tabela 4 - Quantidade de caçambas necessárias

SOLO	523,66	m ³
Inchamento (úmido) - fator 1,2	628,39	m ³
Capacidade de uma caçamba	5	m ³
Concreto, argamassa, cerâmica, pedras decorativas	133,59	m ³
Empolamento- fator 1,45 (sem triagem geral)	193,70	m ³
Capacidade de uma caçamba	5	m ³
Total de caçambas necessárias	126 + 38	un

Fonte: Autores (2021)



Seriam economizadas 126 caçambas para alocação de solo e 38 caçambas que seriam utilizadas para alocação dos demais resíduos que correspondem à classe A.

No total, haveria uma economia de R\$ 52.480,00 com caçambas, por serem reutilizados/ reciclados resíduos classe A na obra considerada.

Tabela 5 - Valor de locação de uma caçamba

Valor de locação de uma caçamba (5m³)	R\$320,00
Concreto, argamassa, cerâmica, pedras decorativas	R\$12.160,00
Solo	R\$40.320,00

Fonte: Autores (2021)

Na sequência, apresenta-se a economia global da obra.

Tabela 6 - Economia total da obra

Economia substituindo AN por AR	R\$ 290.372,52* *Adotou-se economia, pelo uso de agregado reciclado em relação ao natural, equivalente a 30%. Consideraram-se todas as etapas da planilha orçamentária em que havia emprego de agregados para se aplicar a economia de 30%; somaram-se os valores correspondentes e foi calculada esse valor de redução de custo.
Economia com descarte	R\$ 52.480,00
Economia total	R\$ 342.852,52

Fonte: Autores (2021)

Miranda (2005) defende que a utilização de argamassas de revestimento feitas com agregado reciclado pode representar uma economia de cerca de 40% no custo do metro cúbico da argamassa. Para esse trabalho, foi considerado valor equivalente a 30% de economia.



A utilização de moinho para autoconstrução não é viável, mas faz sentido para Construtoras, mesmo que em pequenas obras. A autoconstrução ainda pode optar pelo empréstimo do equipamento (da Prefeitura, por exemplo, nos municípios que disponibilizarem) ou aquisição de agregado miúdo já reciclado (areia reciclada).

Quanto à dosagem das argamassas, ressalta-se a necessidade de controle da fissuração. Características como teor de finos e quantidade de água (relação a/c) são fatores importantes; quanto menor a retração, menor a tendência à fissuração. O teor total de finos passantes na peneira 200 (partículas menores que 0,075mm) para argamassas de assentamento e revestimento corresponde a 23% (já considerando os finos do cimento, cale do agregado), esse percentual assegura boa trabalhabilidade. Agregados naturais possuem teor de finos em torno de 3 a 5%, enquanto que agregados reciclados possuem teores normalmente superiores a 10%.

Ademais, salienta-se que argamassas dosadas com agregados reciclados possuem teor de finos mais alto, o que confere melhor plasticidade à mistura, podendo reduzir ou até mesmo dispensar o uso da cal.

CONCLUSÃO

Considerando o reuso e a reciclagem de resíduos classe A nas obras, é importante que se valorize o processo de triagem. Uma boa triagem identifica contaminantes e promove o descarte do que não seria possível reutilizar ou reciclar. Ainda, há de se referenciar que construtoras devem possuir procedimentos executivos padronizados que facilitem propostas para reuso e reutilização.

Foi previsto que os agregados reciclados produzidos na própria obra do CMEI fossem destinados a etapas como contrapisos (que aceitam maior teor de finos), calçadas ou argamassas. Para que sejam aplicadas as estratégias de reuso dos resíduos classe A e dos agregados reciclados obtidos pela moagem, é imprescindível bom planejamento observando-se o cronograma da obra. Manter resíduos ou agregados reciclados muito tempo no canteiro de obras não é interessante.

Por fim, pôde-se verificar que há economia quando o reuso e a reciclagem são considerados. Não descartando todo o resíduo classe A da obra, foi estimada uma economia de R\$ 52.480,00 com caçambas. Além disso, uma economia de R\$ 290.372,52 com agregados naturais. Somando-se os valores em questão, obtém-se



percentual de economia total na obra equivalente a 22,59%. Não foi considerada economia gerada pela dispensa de uso de cal na obra.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo: ABRELPE, 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 31/08/2021.

BOTERO, E., GARCIA, J. L., OSSA, A. Use or recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal Of Cleaner Production**, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.06.088

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 307, de 05 de julho de 2002 Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de jul. de 2002. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf>. Acesso em: 01 set. 2021.

DUAN, Z., HOU, S., XIAO, J., LI, B. Study on the essential properties of recycled powders from construction and demolition waste. **Journal Of Cleaner Production**, v. 253, p. 1-10, 2020.

EUROPEAN CIRCLE ECONOMY. **The Circularity Gap Report**. Amsterdam, 2019. Available on: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/circularity_gap_report_2019.pdf. Access: 02/09/2021.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2015. Disponível apenas em português em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnsb>. Acesso: 02/09/2021.

JIMÉNEZ-RIVERO, A.; GARCÍA-NAVARRO, J. Exploring factors influencing postconsumer gypsum recycling and landfilling in the European Union. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 116, p. 116 – 123, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.014>

KOLAVENTI, S. S.; TEZESWI, T. P.; SIVA KUMAR, M. V. N. An assessment of construction waste management in India: A statistical approach. **Waste Management and Research**, v. 38, n. 4, p. 444–459, 2019. <https://doi.org/10.1177/0734242X19867754>

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.



PINTO, T. P. Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais. São Carlos, 1989. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. (Datilografado).

SÁEZ, Paola Villoria; OSMANI, Mohamed. A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. **Journal Of Cleaner Production**. [S. L.], 27 p. 2019. [https:// doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118400](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118400).

SANTOS, Laís Carlos Boaventura; LOPES, Thaís Andrade de Sampaio; QUEIROZ, Luciano Matos; ZANTA, Viviana Maria. Performance of a small-scale construction and demolition waste recycling unit: a case study in northeastern Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 1, 14 jul. 2021. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2691>.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de; PALIARI, José Carlos; AGOPYAN, Vahan; ANDRADE, Artemária Coêlho de. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, 2004.

Capítulo 2
A CARGA HORÁRIA DE FINANÇAS PARA
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: UMA
ANÁLISE EM CURSOS PÚBLICOS DO BRASIL

Maria Eliza Casagrande Lazzaretti

Ruth M. Hofmann

Marcos Augusto Mendes Marques





A CARGA HORÁRIA DE FINANÇAS PARA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: UMA ANÁLISE EM CURSOS PÚBLICOS DO BRASIL

Maria Eliza Casagrande Lazzaretti

Estudante de graduação em Engenharia de Produção - UFPR, lazzaretti@ufpr.br.

Ruth M. Hofmann

Professora do Departamento de Engenharia de Produção - UFPR, Doutorado em Educação - UFPR, ruthhofmann@gmail.com.

Marcos Augusto Mendes Marques

Professor do Departamento de Engenharia de Produção - UFPR, Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia - UFPR, marcos.marques@gmail.com.

Resumo: O ensino de Engenharia de Produção teve grande expansão no que diz respeito às áreas de atuação do egresso, desde a oferta do primeiro curso no Brasil, na década de 1950. A ABEPRO subdivide a formação, a partir de 2002, em 10 grandes áreas do conhecimento. Entre elas, destacam-se para esse trabalho as áreas de Educação em Engenharia de Produção e Engenharia Econômica. A demanda por esses profissionais, contudo, é distribuída de forma heterogênea pelo território brasileiro, tendo predominância nas regiões Sul e Sudeste, onde também é possível observar uma quantidade superior na oferta do curso nas Universidades. Foi considerando essa disposição e tendo em vista o aprimoramento do ensino de finanças, bem como a influência da disposição da carga horária na formação do graduando, que o artigo utilizou da análise quali-quantitativa para fazer uma comparação entre o percentual da carga horária de disciplinas financeiras e a totalidade do curso em 14 instituições de ensino públicas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Além disso, o artigo adotou o coeficiente de correlação por postos de Spearman para testar a hipótese de haver uma eventual correspondência entre a posição das Universidades no Ranking Universitário da Folha S.A. e a carga horária dedicada às disciplinas financeiras.

Palavras-chave: Ensino econômico. Finanças para engenheiros. Análise de carga horária. Cursos públicos.

Abstract: The production engineering teaching has had great expansion with regard to the expertise areas of egress, since the offer of the first course in Brazil, in the 1950s. ABEPRO subdivides the courses, since 2002, in 10 great areas of knowledge. Between then, the areas of education in production engineering and economic



engineering stand out for this paper. However, the request for these professionals is distributed heterogeneously through Brazilian territory, having predominance in the South and the Southeast regions, where it is also possible to observe a superior quantity in the offer of the course at local universities. Considering this disposition and intending to improve economic education, the article used quali-quantitative analysis to make a comparison between the percentage of the hour of financial disciplines and the totality of the course in 14 public universities in the south and southeast regions of Brazil. Moreover, the present work intends to present a possible correlation between the position in the “Ranking Universitário da Folha de S. Paulo” and the percentage of financial subjects workload, ending with suggestions for future research.

Keywords: Economic education. Finances to engineers. Course load analysis. Public colleges.

INTRODUÇÃO

As origens da Engenharia de Produção, no mundo, remetem ao fim do século XX e início do século XXI nos Estados Unidos, com o surgimento da Administração Científica, estudo desenvolvido por Frederick Taylor, Henry Gantt, Frank e Lillian Gilbreth e Harrington Emerson, entre outros. Todos engenheiros, apresentaram pesquisas relativas ao processo produtivo, buscando ampliar a produtividade das organizações, reduzindo o tempo e descartando movimentos desnecessários (PIRATELLI, 2005).

O Brasil, contudo, passou a contar com a implantação de empresas multinacionais e demandar pelo trabalho do engenheiro de produção somente na década de 1950. A introdução do profissional e de cursos de graduação nas instituições de ensino superior, portanto, se deu no ano de 1957, pela Universidade de São Paulo e, somente uma década depois, o curso passou a ser ofertado por outras faculdades brasileiras (FAÉ; RIBEIRO, 2004).

Segundo Piratelli (2005), o ensino de Engenharia de Produção, bem como sua grade curricular, sofreu diversas modificações desde a sua implementação no Brasil, inicialmente com foco na gerência da produção. O autor alega que embora tenha se tornado popular, a oferta do curso deve procurar manter a qualidade de ensino, cabendo às entidades acadêmicas dimensionar as vagas, buscando evitar a saturação do mercado de trabalho.

Expondo a demanda por engenheiros nas regiões brasileiras, Souza e Domingues (2014) debateram a suposta escassez de recursos humanos



especializados, com ênfase em engenheiros e cientistas, e realizaram uma estimativa de procura por tais profissionais no Brasil. Os resultados indicaram uma variação elevada na contratação de engenheiros de produção entre 2012 e 2023, como também a predominância das regiões Sul e Sudeste no uso dos conhecimentos de engenharia, comparado ao território brasileiro como um todo.

A formação do engenheiro de produção depende de um conteúdo interdisciplinar, incluindo disciplinas do setor de ciências sociais aplicadas, como é o caso de economia e contabilidade. Assim, permite-se que o profissional desenvolva uma visão crítica, o que o capacita para solucionar problemas, levando em considerações possíveis impactos financeiros, sociais e ambientais (SILVA; STANO; REZENDE, 2012).

Considerando a amplitude de setores de atuação do egresso, a ABEPRO estabeleceu, em 2008, a sua Matriz de Conhecimentos, através da Comissão de Graduação no ENEGEP, em que são expostas as 10 áreas de estudo dos cursos de Engenharia de Produção no Brasil. Dentre elas, o ensino financeiro, representado pelo tópico de Engenharia Econômica, engloba noções de gestão de investimentos, de custos e de riscos, permitindo que o profissional desenvolva habilidades para analisar estimativas e formular planos para auxiliar na tomada de decisão.

Com o intuito de analisar a carga horária destinada para o ensino de economia e finanças nos cursos públicos de Engenharia de Produção no Brasil, este artigo está dividido em outras quatro seções, além da presente introdução. A seção 2 utiliza da revisão literária para apresentar um panorama do mercado de trabalho e do ensino de economia e contabilidade para engenheiros. A seção 3 destaca a metodologia do trabalho, detalhando o processo de obtenção de dados. A quarta seção apresenta os resultados e os debates, cabendo à última seção uma conclusão do artigo.

REVISÃO DA LITERATURA

A relação entre carga horária e qualidade do ensino tem sido discutida há tempos sob diferentes perspectivas no âmbito do ensino fundamental brasileiro (FARIA; RACHID, 2015). A ampliação da carga horária já foi, inclusive, objeto de propostas de mudança na Lei de Diretrizes e Bases (TAVARES, 2011). Ainda que as discussões prevaleçam no contexto do ensino fundamental, a composição da grade



curricular do ensino superior, em especial no que se refere à carga horária, também tem sido objeto de análise de diferentes trabalhos. Em conjunto com inúmeras variáveis, a carga horária pode ter efeitos diretos e indiretos na qualidade do ensino superior. Seja pelo efeito motivacional que pode exercer sobre professores (GOUVEIA et al., 2006) e estudantes (FARIA et al., 2008), seja pela própria duração da exposição à conteúdos específicos, a carga horária das aulas pode ser uma variável relevante para compreensão da qualidade do ensino de Engenharia.

Szafran (2001) realizou um estudo sobre o efeito da carga horária na permanência dos novos estudantes nas faculdades, que levou em consideração o histórico escolar do aluno desde o ensino médio, o gênero, minorias, estudantes empregados no primeiro semestre ou ano, a carga horária adotada pelos novos graduandos, a dificuldade das disciplinas cursadas e outras variáveis. Ele concluiu que, embora o comum seja sugerir que graduandos iniciantes optem por uma carga horária inferior, os resultados indicaram que há uma interação dos conhecimentos prévios dos estudantes com seus desempenhos no início da graduação. Além disso, alunos que optaram por carga horária elevada tiveram um desempenho melhor do que alunos que selecionaram disciplinas mais complexas para cursar, ou seja, a permanência e sucesso dos estudantes é resultado da interferência da dificuldade do curso, de conhecimentos prévios, das notas obtidas e da carga horária cursada. Os resultados indicaram que não há influência da raça, gênero, orientação ou empregabilidade com o foco do estudo.

Outra pesquisa realizada por Belfield, Jenkins e Lahr (2016) discutiu a influência do impulso no início da graduação para a conclusão do curso por parte dos estudantes, ou seja, os autores defenderam a relação entre uma elevada carga horária para iniciantes e a permanência dos graduandos no curso. Através de uma análise em faculdades do Tennessee, aplicaram-se testes em que se passou a sugerir aos discentes do primeiro semestre que se completassem 15 créditos, não os 12 créditos do período inicial, o que era a prática anterior.

Os resultados indicaram, portanto, que o aumento de carga horária inicial elevou as chances dos alunos de concluírem suas graduações: os estudantes com maior carga horária no primeiro semestre apresentaram 6,4% mais chances de se formar e, para quem utilizou esse método e está no quarto ano da graduação, essas chances se tornam ainda maiores, chegando a 11%. Em outra comparação, os



autores abordaram graduandos que completaram mais de 27 créditos em seu primeiro ano e, quando comparadas as suas chances de finalizar o curso com alunos que cursaram menos, foi possível identificar 11% de mais chances de obter um diploma de associado e 8% de obter um diploma de bacharel. Para alunos do 4º ano, portanto, esse percentual cresce provavelmente para 19% (BELFIELD; JENKINS; LAHR, 2016).

Embora o aumento da carga horária inicial requeira, para faculdades privadas, um investimento monetário maior, Belfield, Crosta, and Jenkins (2016) apontaram que há um aumento da eficiência no método, comparando gastos pela formação completa, que devido a variações monetárias e regulamentos institucionais, tendem a ter um custo total reduzido em cerca de 9% quando se opta por cursar 15 créditos no primeiro período.

A abordagem da relação entre o tempo dedicado ao estudo e o desempenho dos estudantes em uma prova ou durante o semestre depende do hábito de estudo adotado pelos alunos e, também, de variáveis qualitativas. Segundo Nonis e Hudson (2010), ao segmentarem-se os hábitos de estudo em habilidade de concentração, tomar notas e revisões regulares de conteúdo, quando se analisa o desempenho dos discentes, levando em consideração fatores como gênero, raça, idade, motivação, tempo de trabalho, carga horária do curso e quantidade de provas anuais, houve uma relação maior no que se diz respeito a notas maiores e alta concentração. Além disso, a variável qualitativa de acesso a notas tomadas durante a aula só se tornou eficaz para o desempenho do aluno, quando relacionado a habilidades de foco e concentração elevadas.

Quando se trata do conflito entre o tempo dos alunos gasto com trabalho e o tempo dedicado para o estudo e seu efeito no desempenho na graduação, acredita-se que existem variáveis como motivação, hábitos de estudo, estresse e grade horária que influenciam a performance do estudante, ou seja, a baixa motivação afeta o rendimento (NONIS; HADSON, 2006).

Diante do exposto, a análise do tempo dedicado às disciplinas que fazem parte da grade curricular de cursos de Engenharia de Produção pode ser relevante para definir estratégias voltadas à melhoria do ensino superior. Este trabalho se dedica à análise comparativa da carga horária dedicada especificamente às disciplinas



financeiras para Engenharia de Produção. Os procedimentos metodológicos para tanto são descritos a seguir.

METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente artigo pautou-se na metodologia quali-quantitativa, utilizando a coleta de dados para fins de análise estatística. Tendo em vista o caráter descritivo da pesquisa, a sequência adotada para realização do trabalho foi dividida em quatro etapas, sendo elas:

1. Leitura e revisão da literatura;
2. Coleta de dados;
3. Discriminação de dados;
4. Análise estatística.

Buscou-se no primeiro momento, portanto, o embasamento teórico e literário, bem como a análise da Matriz de Conhecimentos da ABEPRO, com a divisão de áreas e sub-áreas de atuação do engenheiro de produção. Em sequência, como critério inicial de seleção das instituições estudadas, utilizaram-se os estudos de Souza e Domingues (2014) e Faé e Ribeiro (2004), que debatem a elevada demanda pelo profissional e oferta de cursos nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Em relação à coleta de dados, foi realizado um levantamento das instituições de ensino públicas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil com melhor colocação no Ranking Universitário da Folha de São Paulo (RUF) de 2019. O RUF é uma análise comparativa que leva em consideração a posição relativa ao ensino, à pesquisa, inovação, internacionalização e ao mercado ocupadas pelas Universidades elencadas.

Após a coleta dos dados, o espaço amostral foi reduzido, descartando-se cursos com qualquer ênfase, seja ela Civil, Mecânica, Elétrica, entre outras. Por essa razão, tanto a UFSC quanto a UDESC não participaram do estudo, por ofertar respectivamente Engenharia de Produção Civil e Engenharia de Produção e Sistemas.

Considerou-se, posteriormente, apenas duas instituições de cada estado das regiões Sul e Sudeste que ofertam cursos com 10 semestres, de modalidade



presencial, e levantou-se a quantidade de disciplinas relacionadas a finanças nos cursos, bem como suas respectivas cargas horárias. Os dados foram organizados de acordo com o Quadro I, considerando, para efeitos de carga horária financeira dentro do curso, apenas disciplinas obrigatórias, dentre elas Engenharia Econômica, Economia, Contabilidade e Gestão de Custos.

Quadro I – Carga horária de finanças por Universidade.

Universidades	Carga Horária do Curso (horas)	Carga horária para disciplinas de finanças (horas)	Posição (RUF)
Universidade de São Paulo - USP	4065	240	1
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG	3600	90	3
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP	3690	180	4
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ	3600	255	5
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS	3600	180	7
Universidade Federal do Paraná - UFPR	3935	180	10
Universidade Federal Fluminense - UFF	3660	180	12
Universidade Federal de Viçosa -	3660	270	18



UFV			
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - Ponta Grossa	4375	180	21
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES	3615	240	25
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM	4065	180	34
Universidade Regional de Blumenau - FURB	4356	72	86
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES	3600	105	136
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC	3980	200	251

Fonte: Os autores (2020)

Por fim, fez-se uma comparação entre a carga horária das disciplinas financeiras com a carga horária total do curso e se calculou a Correlação por postos de Spearman entre a posição do curso no RUF e a quantidade da carga horária para o ensino de finanças.

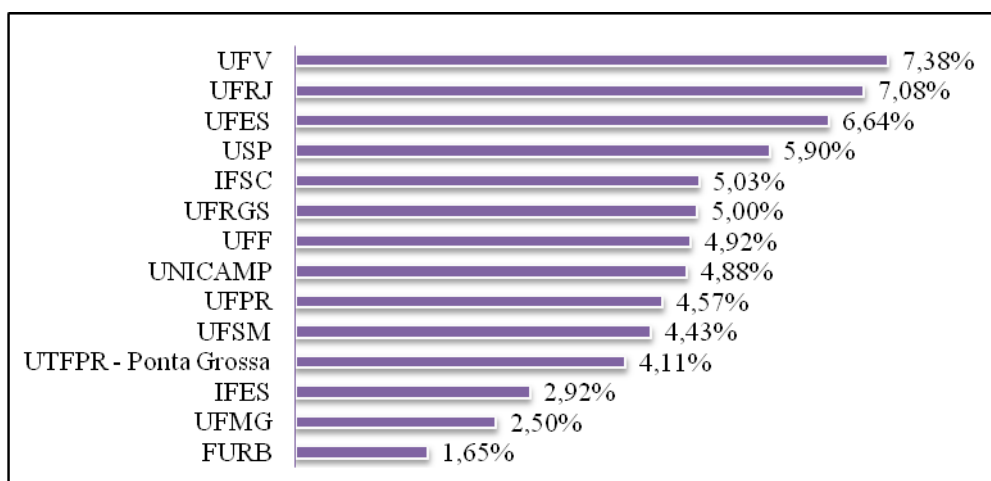
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta de dados, passou-se para a análise comparativa da carga horária destinada às disciplinas financeiras em cada instituição de ensino selecionada. Para



tanto, os dados foram organizados de acordo com o Quadro I e no primeiro momento se traçou um percentual da carga horária destinada à finanças e o total do curso, com os resultados apontados no Gráfico 1.

Gráfico 1- Percentual da carga horária de disciplinas financeiras em relação a carga horária total do curso por instituição.



Fonte: Os autores (2020)

A análise através da estatística descritiva foi realizada em seguida e os dados são apresentados na Tabela 2. Assim, foi possível observar que tanto a média quanto a mediana do percentual relativo a carga horária de finanças nos cursos obtiveram respectivamente os valores de 4,7865% e 4,8980%. Já com o resultado do desvio padrão, é possível concluir que há uma alta variabilidade dos percentuais em torno da média, ou seja, os valores amostrais são heterogêneos e oscilam, no geral, em torno de 1,6633% para mais ou para menos da média obtida. Por fim, ainda de acordo com o Quadro II, percebem-se as exceções da amostra, através dos valores de máximo e de mínimo, que representam respectivamente 7,3770% e 1,6529%.

Quadro II – Estatísticas descritivas.

Medidas	Cálculos
Média	4,7865%
Mediana	4,8980%
Tamanho (n)	14



Est. Classes	3,7417
Classes	3
Incremento	1,9081%
Desvio Padrão	1,6633%
Máximo	7,3770%
Mínimo	1,6529%

Fonte: Os autores (2020)

No segundo momento foi comparada a carga horária entre as regiões da amostra e, com isso, identificou-se que, de acordo com a média, não há uma diferença elevada do tempo disponível para o ensino de finanças, sendo seus valores de 182,2857 horas para a região sul, e de 190,7692 horas para a região sudeste. Contudo, a análise do desvio padrão da amostra indica uma dispersão elevada em torno da média para ambos os casos, com 58,8979 para o sul e 52,86 horas para o sudeste. Essa elevada variabilidade pode ser observada em instituições com carga horária discrepante, por exemplo, a UFMG e a FURB, ambas com uma carga inferior a 100 horas.

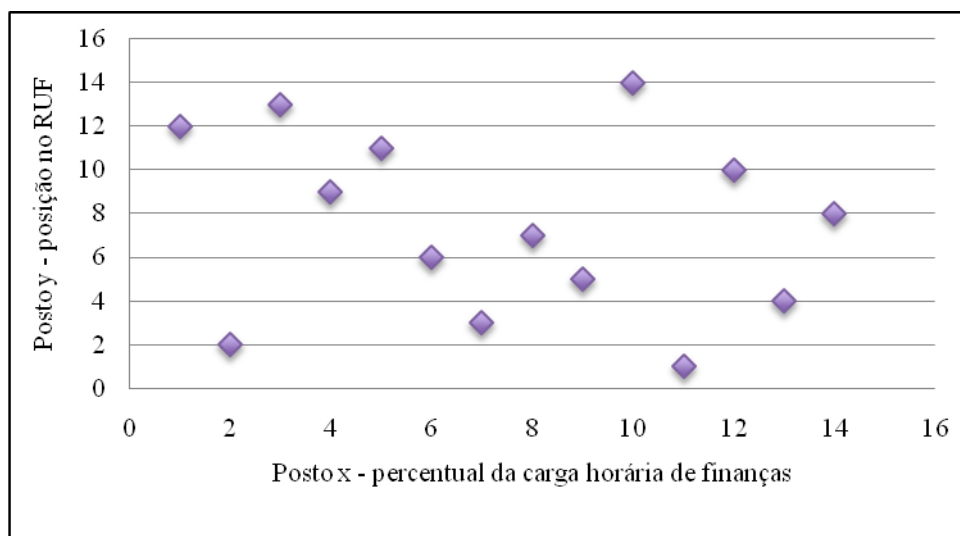
O último procedimento adotado foi o cálculo de Correlação por postos de Spearman, em que as variáveis estão destacadas a seguir:

- x Variável independente, percentual da carga horária dedicada para o ensino de disciplinas de economia e finanças em determinado curso;
- y Variável dependente, posição ocupada por determinado curso no RUF.

Os cálculos foram realizados utilizando o Excel e resultado do ρ de Spearman igual a -0,2132 indica que a correlação entre as variáveis é fraca, ou seja, não se pode afirmar que exista uma dependência significativa entre o desempenho das instituições no ranking e o percentual da carga horária que cada curso dedica para o ensino econômico. A elevada dispersão dos dados pode ser analisada no Gráfico 2 – Diagrama de Dispersão entre a carga horária de disciplinas financeiras e a posição ocupada pela Universidade no RUF.



Gráfico 1- Diagrama de Dispersão entre a carga horária de disciplinas financeiras e a posição ocupada pela Universidade no RUF.



Fonte: Os autores (2020)

O pressuposto de independência reitera o caráter multideterminado do desempenho do aluno para dada carga horária dos cursos de graduação, conforme analisaram os estudos de Belfield, Jenkins e Lahr (2016) e Sarath e Hudson (2010). A carga horária de disciplinas específicas, por si só, não é variável determinante da qualidade do ensino, devendo esta ser tomada à luz de outras variáveis, a exemplo da metodologia de ensino, da formação dos professores, entre outros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de finanças para Engenharia de Produção faz parte das normativas que regulamentam a oferta de cursos de graduação no país. Conteúdos de finanças são necessários para permitir ao engenheiro de produção realizar análises essenciais para o exercício da profissão. Nesse contexto, o presente trabalho realizou uma análise comparativa da carga horária voltada ao ensino de finanças em 14 cursos de graduação brasileiros. A partir dos dados, pôde-se observar que a carga horária média dedicada às disciplinas de cunho financeiro foi de aproximadamente 5%, mas com variação significativa entre as instituições comparadas (mínimo de 1,65 e máximo de 7,38% da carga horária total do curso).

Cabe mencionar que a vasta e abrangente formação em Engenharia de Produção habilita seus profissionais a atuarem, inclusive, no mercado financeiro,



posto que a graduação lhes proporciona contato com temas específicos de análise financeira. Nesse sentido, a receptividade de profissionais da engenharia em áreas financeiras é parte importante da receptividade do engenheiro de produção no próprio mercado de trabalho. Como mencionado, a composição do ranking utilizado se pauta também pela aceitação que os egressos têm no mercado de trabalho.

Utilizando o coeficiente de correlação de Spearman, este trabalho concluiu haver uma correlação fraca entre a carga horária dedicada às disciplinas financeiras e a posição da instituição no RUF. Trata-se de resultado que ressalta a importância da inclusão de outras variáveis para a compreensão dos determinantes da qualidade do ensino de graduação.

A compreensão de conteúdos econômicos, contudo, depende da metodologia de ensino adotada e da conexão dos tópicos abordados com a realidade. Em cursos de Engenharia de Produção, entretanto, estratégias de leitura que permitem que o aluno desenvolva uma capacidade crítica dos textos e melhoram a interpretação de acontecimentos econômicos, por exemplo, ocupam apenas 2% entre os estilos de ensino adotados pelos docentes (SILVA; STANO; REZENDE, 2012).

A metodologia do ensino financeiro vinculado ao tempo disponível para transmitir o conteúdo pressuposto na ementa, portanto, se torna um importante tópico a ser abordado em trabalhos futuros. Além disso, tendo em vista o caráter restritivo da pesquisa e considerando possíveis melhorias do ensino econômico para engenharias, sugere-se que haja uma investigação da relação entre a carga horária destinada para a área e a quantidade de alunos formados atuando no setor de finanças ou mercado de ações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ABREPRO).

Matriz de Conhecimentos da ABEPRO. Disponível em:

<<http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/Matriz%20de%20Conhecimento%20-%20CREA's.pdf>> Acesso em: 08 de jun. 2020.

BELFIELD, C.; JENKINS, D.; LAHR, H. The Academic and Economic Value of a 15-Credit First-Semester Course Load for College Students in Tennessee. **CCRC**

Working Paper, n. 88, 2016. Disponível em:



<<https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/D8H70QFM/download>>
Acesso em 10 de jun. 2020.

FAÉ, C. S.; RIBEIRO, J. L. D. *Um retrato da Engenharia de Produção no Brasil. XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção*. Florianópolis, 2004.

FARIA, A. C. O grau de satisfação dos alunos do curso de ciências contábeis: busca e sustentação da vantagem competitiva de uma IES privada. **Enfoque: Reflexão Contábil**, v. 25, n. 1, p. 25-36, 2008.

FARIA, J. S. S.; RACHID, A. Jornada de trabalho dos professores da rede pública de ensino. **Revista FAE**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 162-177, jul./dez. 2015.

GOUVEIA, A. B.; CRUZ, R. E. C.; OLIVEIRA, J. F.; CAMARGO, R. B. Condições de trabalho docente, ensino de qualidade e custo-aluno-ano. **Revista Brasileira de Política e Administração da Educação**. v.22, n.2, p. 253-276, jul./dez. 2006.

NONIS, S. A.; HUDSON, G. I.; Academic Performance of College Students: Influence of Time Spent Studying and Working. **Journal Education for Business**, p.151-159, 2006. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/254344820_Academic_Performance_of_College_Students_Influence_of_Time_Spent_Studying_and_Working> Acesso em: 10 de jun. 2020.

NONIS, S. A.; HUDSON, G. I. Performance of College Students: Impact of Study Time and Study Habits. **Journal of Education for Business**, n. 85, p. 229-238, 2010. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/08832320903449550?casa_token=v5K6F_HqgO0AAAAA:vWV6auQtXhHK3yBROM0B147Rj-twyDbqNDnRBm6-SDFLRDF4YkYmkaXVilP8yaTxrCwL41etrl1blg> Acesso em: 10 de jun. 2020.

PEREIRA, E. F.; TEIXEIRA, C. S.; ANDRADE, R. D.; SILVA-LOPES, A. O trabalho docente e a qualidade de vida dos professores na educação básica. **Revista Salud Pública**, v. 16, n. 2, p. 221-231, 2014. Disponível em:

<<https://www.scielo.org/pdf/rsap/2014.v16n2/221-231>> Acesso em: 17 de jun. 2020.

PIRATELLI, C. L. *A Engenharia de Produção no Brasil. XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. Campina Grande, 2005

Ranking Universitário da Folha de S. Paulo (RUF). **Ranking de cursos de graduação**. Disponível em: <<https://ruf.folha.uol.com.br/2019/ranking-de-cursos/engenharia-de-producao/>> Acesso em: 10 de jun. 2020.

SILVA, A. M. R.; STANO, R. C. M. T.; REZENDE, M. L. Análise do ensino de Teoria Econômica nos cursos de Engenharia de Produção em seus aspectos curriculares. **Produção Online: Revista Científica de Engenharia de Produção**, v. 12, n. 2, p. 480-498, 2012.

SOUZA, K. B.; DOMINGUES, E. P. Mapeamento e projeção da demanda por



engenheiros por categoria, setor e microrregiões brasileiras. **Pesquisa e planejamento econômico**, v. 44, n. 2, 2014.

SZAFRAN, R. F.; The Effect of Academic Load on Success for New College Students: Is Lighter Better?. **Research in Higher Education**, v. 42, p. 27-50, 2001. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1018712527023#citeas>> Acesso em: 16 de jun. 2020.

TAVARES, O. **Carga horária maior não garante melhoria do ensino**. 2011. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/educacao/carga-horaria-maior-nao-garante-melhoria-do-ensino-aknt2888kka7ommcl9ytl6q8e/>> Acesso em: 15 de jun. 2020.

Capítulo 3

ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM INSERÇÃO DE POLI- TEREFTALATO DE ETILENO (PET): UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Nathália Cunha Rubin

Rosane Olivo Menegon

Michael Dowglas de Gois Silva

Milton Batista Ferreira Junior





ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM INSERÇÃO DE POLI-TEREFTALATO DE ETILENO (PET): UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Nathália Cunha Rubin

*Aluna do Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica (PIVIC-UniRV),
Graduanda em Engenharia Civil (UniRV), nathaliarubin@outlook.com*

Rosane Olivo Menegon

*Professora convidada do Programa de Pós Graduação em Projeto,
Dimensionamento de Estruturas e Fundações (UniRV), Engenharia Civil, MBA em
Projeto e Execução de Estruturas e Fundações, Mestra em Engenharia de
Edificações e Ambiental (UFMT),*

Michael Dowglas de Gois Silva

*Professor Adjunto na UniRV lotado no curso de Engenharia Civil, Engenheiro Civil
(UEG), Mestre em Mecânica dos Sólidos (UFG), Doutorando em Engenharia
Mecânica com ênfase em Dinâmica das Estruturas (Universidade Estadual Paulista
(Unesp) – Ilha Solteira), michael@unirv.edu.br*

Milton Batista Ferreira Junior

*Professor Adjunto na UniRV lotado no curso de Engenharia Civil, Licenciado em
Física (IFG), Mestre em Ensino de Ciências e Matemática (IFG), Doutorando em
Ciências dos Materiais com ênfase na fabricação de fibras Supercondutoras pela
técnica de fiação por sopro de solução (Universidade Estadual Paulista (Unesp) –
Ilha Solteira), milton.junior@unirv.edu.br*

Resumo: Concreto é o material de construção civil mais consumido, sendo um grande desafio para a engenharia moderna por seu grande impacto ambiental devido à extração de material e até a emissão de CO₂ na sua produção e, com isso, ao subsidiar modelos sustentáveis dentro da construção com o reuso de materiais que não possuem destino adequado. A adição de fibras de PET no concreto tem se mostrado de grande relevância social, econômica e ambiental. A elaboração de traços com substituição ou adição desses materiais é o *start* para se avançar em pesquisas



nessa vertente. Buscando minimizar os impactos causados pela construção civil e o uso de recursos naturais, o presente trabalho realizou uma revisão sistemática, discutindo sobre os efeitos da adição ou substituição de PET em formato de fibra ou grãos nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Verificou-se, então, que a adição ou substituição de qualquer tipo de fibra em um concreto convencional reduz a sua trabalhabilidade. Independentemente do tipo de fibra, a perda de trabalhabilidade é consideravelmente proporcional ao volume de concreto. Contudo, a inclusão por meio de substituição de fibras de PET no concreto mostrou um aumento de resistência à compressão, com taxas que variam de 5% até 10% relativo ao concreto referência. Isto é, com o aumento das taxas superiores a 10% do conteúdo de PET, as resistências à compressão diminuem. Por outro lado, as fibras PET adicionadas no concreto nas proporções inferiores a 1,5% garantem uma resistência à compressão superior ao concreto referência. Isso prova a capacidade de carga do concreto reforçado com fibras. Assim, acredita-se que a inserção de fibras PET seja uma alternativa para aliar sustentabilidade e desenvolvimento econômico na construção civil.

Palavras-chave: PET. Concreto. Propriedades mecânicas. Reuso.

Abstract: Concrete is the most consumed civil construction material, being a great challenge for modern engineering due to its great environmental impact due to the extraction of material and even the emission of CO₂ in its production and, therefore, by subsidizing sustainable models within construction with the reuse of materials that do not have an adequate destination. The addition of PET fibers to concrete has proved to be of great social, economic and environmental relevance. The elaboration of lines with substitution or addition of these materials is the start to advance in research in this aspect. Seeking to minimize the impacts caused by civil construction and the use of natural resources, this work carried out a systematic review, discussing the effects of adding or replacing PET in fiber or grain format on the properties of fresh and hardened concrete. It was verified, then, that the addition or replacement of any type of fiber in a conventional concrete reduces its workability. Regardless of the type of fiber, the loss of workability is considerably proportional to the volume of concrete. However, the inclusion through replacement of PET fibers in concrete showed an increase in compressive strength, with rates ranging from 5% to 10% relative to the reference concrete. That is, with increasing rates above 10% of the PET content, the compressive strengths decrease. On the other hand, PET fibers added to concrete in proportions below 1.5% ensure a superior compressive strength compared to reference concrete. This proves the load-bearing capacity of fiber reinforced concrete. Thus, it is believed that the insertion of PET fibers is an alternative to combine sustainability and economic development in civil construction.

Keywords: PET. Concrete. Mechanical properties. Reuse.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores da economia que se demonstra resistente mesmo em tempos de pandemia, contudo é um dos que mais gera impactos ambientais. Na tentativa de minimizar esse problema, as últimas décadas foram



marcadas por pesquisas que investigam alternativas que objetivam minimizar esses prejuízos ao meio ambiente, tanto na tentativa de melhorar a qualidade do concreto, na busca pelo aumento de sua durabilidade, quanto nos meios que afetam o seu desempenho, vida útil e/ou o custo de manutenção de infraestruturas.

O estilo de vida moderno, junto com as novas tecnologias, gera produção de resíduos e o descarte destes é um problema a ser solucionado. A maioria dos resíduos não tem destinação eficiente e permanece por centenas e milhares de anos causando danos ao meio ambiente. Esses resíduos não biodegradáveis, juntamente com o crescimento populacional, levam a uma crise ambiental sem precedentes em todo o mundo. Muitos deles são colocados no depósito de lixo ou são despejados nas latas de lixo ilegalmente (RAHMANI, E., et al., 2013).

Estudos destacam a possibilidade da utilização de materiais recicláveis na melhoria das propriedades do concreto, tais como trabalhabilidade, resistência à compressão e tração, diminuição de fissuras, entre outras. Aumenta, dessa forma, a vida útil desses materiais, seja por meio de métodos de reciclagem ou técnicas de reutilização, reduzindo assim, o consumo dos recursos naturais e protegendo o meio ambiente por meio da destinação “mais correta” dos resíduos sólidos que, a priori, não têm finalidade econômica, um destino adequado, ou que poluem o meio ambiente, em sua matriz.

Nas últimas décadas houve um crescimento significativo no uso de materiais residuais substituindo agregados graúdos ou miúdos na matriz cimentícia do concreto. Pesquisadores usaram diversos materiais, várias formas e métodos de adições no concreto e investigaram seus efeitos nas suas diferentes propriedades físicas e mecânicas.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a dosagem do concreto quando se pretende inserir ou substituir materiais não convencionais em sua matriz é o ponto de maior atenção. Entende-se por dosagem o processo de obtenção da combinação correta de cimento, agregados, água, adições e aditivos para produzir o concreto de acordo com as especificações desejadas. Convencionalmente, os requisitos mais importantes ao se analisar a produção do concreto são a trabalhabilidade no estado fresco e a resistência no estado endurecido.



Geralmente, o agregado consiste de 65% a 80% da proporção do concreto convencional e tem o papel principal no comportamento do concreto, como durabilidade, estabilidade dimensional e trabalhabilidade. A adição de fibras poliméricas ou substituição de parte do agregado por grãos poliméricos no concreto pode melhorar algumas das propriedades mecânicas e a sua durabilidade devido à baixa condutividade térmica, bom comportamento à abrasão, alta tenacidade e alta capacidade de calor (ARAGHI, H. J. A., et al., 2015).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), as fibras são produzidas a partir do aço, plástico, vidro e materiais naturais, e podem ter uma variedade de formas e tamanhos. A distribuição granulométrica dos agregados deve ser escolhida conforme o tipo de fibra e os objetivos do desempenho do concreto reforçado com fibras.

As propriedades do concreto reforçado com fibras dependem do tipo, quantidade e das dimensões das fibras adicionadas, bem como das propriedades da matriz cimentícia e a interface fibra-matriz. A interface fibra-matriz e a geometria da fibra controlam a aderência da fibra à matriz (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Conforme Saikia e Brito (2014), o aproveitamento de resíduos de Poli-Tereftalato de Etileno (PET) em concreto como agregado pode ser um de seus usos extensivos, pois apresenta vantagens na destinação de resíduos e causa diminuição de danos ambientais devido ao menor uso de recursos naturais.

O PET foi desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson, e desde então a sua utilização na fabricação de embalagens tomou proporções incomensuráveis, porém não houve a elaboração de um plano de ação para destinação e reutilização do material. No Brasil, sua produção teve início em 1993, e não sendo diferente dos outros países, passou a ser amplamente utilizado nas embalagens de bebidas e alimentos. Sua produção aumenta a cada ano e a reciclagem se tornou necessária e obrigatória (CORREA, 2015).

As fibras de PET apresentam características próximas às das fibras naturais, possuindo resistência à tração, uma propriedade interessante quando se pensa no concreto. Com a substituição de agregados por fibras de embalagens plásticas no concreto, sua massa específica é reduzida, surgindo uma vertente de pesquisas sobre produção de concretos mais leves (CHOU, et al., 2005).



Pesquisas recentes indicam que o uso de resíduos plásticos no concreto substituindo agregados podem afetar suas propriedades. Em relação à adição de resíduos de PET no concreto, alguns efeitos negativos surgem em relação à qualidade do concreto, como diminuição na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade, ocasionando uma diminuição na energia superficial devido à fraca ligação mecânica (SAIKIA, N., et al., 2014).

Nesse contexto, pode-se dizer que a adição de fibras de PET no concreto tem se mostrado de grande relevância social, econômica e ambiental. A elaboração e execução de traços com substituição ou adição desses materiais é o *start* para se avançar em pesquisas nessa vertente. Dito isso, vê-se a oportunidade de tornar real o uso de materiais descartáveis de plásticos reciclados, assim como as fibras que vêm sendo utilizadas para compor o concreto, por possuírem propriedades termoplásticas, ou seja, podem ser reprocessados diversas vezes pelo mesmo ou por outro processo de transformação, melhorando assim o comportamento do concreto com o uso deste material.

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática, discutindo os efeitos da adição ou substituição de PET em formato de fibra ou grãos nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Acredita-se que essa seja uma alternativa para aliar sustentabilidade e desenvolvimento econômico na construção civil.

METODOLOGIA

Define-se revisão sistemática como um resumo de toda a informação existente sobre um fenômeno de maneira imparcial ou incompleta. Para Lacerda, Ensslin e Ensslin (2012), o conceito análise bibliométrica tem como base a avaliação quantitativa de determinados parâmetros de um conjunto definido de artigos, denominado portfólio bibliográfico. Já Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2014), definem revisão sistemática da literatura como um estudo secundário, utilizado para mapear, avaliar criticamente, consolidar ou agregar resultados relevantes de estudos primários acerca de uma questão ou tópico de pesquisa específico, de forma a resultar em um relatório coerente ou em uma síntese. Isso significa que uma revisão



sistemática deve seguir o plano definido no protocolo de revisão, estabelecendo uma sequência de passos.

A fim de averiguar a influência da adição ou substituição de fibras de PET no concreto, em formato de fibra ou grãos, avaliando os efeitos causados nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, foi realizada uma busca por artigos científicos no banco de dados científicos *Science Direct*, considerado um dos maiores bancos de dados, em revistas científicas, livros e artigos. O objetivo é integrar, combinar e resumir as conclusões, isto é, realizar uma revisão bibliográfica combinando os dados de estudos, a qual reuniu materiais com características semelhantes de diversos autores para realizar uma análise estatística, em um período de quinze anos.

As *strings* de busca ou termos de buscas foram formadas pelas combinações das seguintes palavras: “PET” ou “Poli-tereftalato de Etileno com concreto ou argamassa”. Contudo, ao fazer a leitura dos primeiros artigos, surgiram outros termos, que tratam propriedades como: “Agregados reciclados”, “Resíduos sólidos”, “Resíduos plásticos”, “Resistência à compressão”, “Plástico reciclado”, “Propriedades mecânicas”, “Trabalhabilidade”, “Fissuras”, “Concreto reforçado com fibras”, e “reúso”, dentre outras semelhantes. Em busca de aumentar o número de trabalhos e a faixa de conhecimento, os artigos pesquisados poderiam estar em dois idiomas: português ou inglês.

Após realizada a busca sistemática de trabalhos, procedeu-se uma pré-avaliação dos estudos primários, baseada em uma categorização:

- I. Tipos de concreto: convencional ou especiais;
- II. Ensaio de concreto referência ou Ensaio de estruturas de concretos;
- III. Estudo de concreto com adição ou substituição exclusiva de PET;
- IV. Outros itens, como: argamassa, ácido sulfúrico, tratamento com plasma, dentre outros.

A análise preliminar foi constituída por um total de 42 artigos, sendo 35 deles excluídos durante as quatro triagens de categorização. Dessa forma, restaram 7 artigos para discussões de resultados.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos apontam para o uso de várias formas de resíduos de plástico, nas quais foram levantados pontos em comum entre as pesquisas que colocaram em prática a adição ou substituição de PET em formato de fibra ou grãos nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Os resultados e análises foram sintetizados de forma que mostrassem as vantagens e desvantagens encontradas pelos autores sob os efeitos desse processo, totalizando sete trabalhos analisados e comparados os resultados.

Os materiais reciclados usados nestes estudos foram garrafas PET de diversos tamanhos e cores, disponibilizadas por empresas de matéria-prima reciclável, que contribuem com a preservação do meio ambiente. Estes materiais também podem ser coletados no lixo e reciclados em laboratórios com os equipamentos apropriados sendo transformados em grãos, conforme alguns artigos apresentam. A Figura 1 é uma fotografia dos grãos de embalagens recicladas de PET. A Figura 2 é uma fotografia de fibras de embalagens recicladas de PET.

Figura 1 - PET reciclado em formato de grãos.



Fonte: Plastgil Plásticos (2018).



Figura 2 - PET reciclado em formato de fibras.



Fonte: Dawood, et. al (2020).

A Tabela 1 apresenta os objetivos propostos por cada trabalho. Pode-se afirmar que o objetivo comum é a possibilidade da utilização de materiais recicláveis de PET na matriz cimentícia. Dessa forma, encontra-se uma destinação mais inteligente para materiais que seriam descartados na natureza de forma indiscriminada, visto que as propriedades do concreto podem sofrer alterações desejáveis, além de reduzir o consumo de recursos naturais, favorecendo a proteção do meio ambiente.

Tabela 1 – Objetivos principais dos artigos analisados

Título Artigo Publicado	Descrição - Objetivo	Autor
Desenvolvimento de fibra PET reciclada e sua aplicação como fibra de reforço de concreto.	Desenvolvimento de um método de produção de fibra PET para reforço de concreto.	OCHI (2007).
Efeitos dos resíduos de PET com agregado grosso nas propriedades frescas e de endurecimento do concreto.	Investigação do efeito do plástico como um agregado gráudo alternativo em várias propriedades frescas e endurecidas do concreto.	ISLAM (2016).
Propriedades mecânicas e comportamento à abrasão do concreto contendo resíduos de garrafas PET trituradas como uma substituição do agregado natural.	Avaliação dos efeitos do tamanho e da forma do agregado de tereftalato de polietileno (PET) reciclado nas propriedades frescas e endurecidas, incluindo resistência à abrasão do concreto.	SAIKIA (2013).



Sobre as propriedades mecânicas do concreto contendo resíduos de partículas de PET.	Influência do uso de partículas de resíduos de PET processadas como parte de agregados finos nas propriedades mecânicas e físicas do concreto são investigadas.	RAHMANI (2013).
Otimização das propriedades mecânicas em concreto armado com fibras de resíduos sólidos urbanos (garrafa PET) para a produção de concreto ecológico.	Avaliar a utilização de fibras de garrafas PET no processo de fabricação de concreto ecológico, buscando otimizar as propriedades mecânicas de compressão e tração.	PEREIRA (2017).
Propriedades físicas e mecânicas do concreto contendo resíduos de PET com um substituto parcial para agregados.	Influência do uso de resíduos de tereftalato de polietileno (PET) como substituição parcial da areia natural é investigada para estudar as propriedades físicas e mecânicas do concreto.	DAWOOD (2020).
Reciclagem de garrafas PET como agregado fino em concreto.	Investigar a influência da substituição do WPET (PET Waste – Resíduos de PET) pelo agregado fino no concreto, empregado quando não são requeridas propriedades particulares de peso, em função do teor de cimento e da relação água/cimento.	FRIGIONE (2010).

Uma das razões dos polímeros serem tão populares como materiais de engenharia é sua inércia química e biológica. Os polímeros termoplásticos são suscetíveis à recuperação e à reciclagem, uma vez que podem ser novamente conformados mediante seu aquecimento (CALLISTER, JR., et. Al., 2020). Tendo isso em mente, o reaproveitamento do Poli-tereftalato de Etileno (PET) quando adicionado na produção do concreto tem se mostrado uma boa estratégia. Nos trabalhos selecionados para a discussão, o PET foi classificado em fibras cortadas ou trituradas, e com granulometria igual e/ou semelhante a um agregado miúdo ou graúdo para serem substituídas ou adicionadas no concreto, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Inserção do PET no Concreto

Autor	Formato de PET inserido	Porcentagens de adição ou substituição
OCHI (2007).	Derretidos e desenhados para produzir monofilamentos, em seguida cortados.	Adição das proporções: 0%, 0,5%, 1,0%, e 1,5%.
ISLAM (2016).	Flocos de PET colocados no forno, derretido e resfriados. Triturados em um tamanho desejado. A distribuição do tamanho do grau dos agregados graúdos PET (PCA), foi considerada semelhante aos agregados graúdos de tijolos.	Substituições das proporções: 0%, 20% 30%, 40% e 50%, pelo tijolo (agregado graúdo).



SAIKIA (2013).	Dos três tipos de agregado de resíduo plásticos (agregado PET) usados, dois eram fragmentados e frações separadas de tipos semelhantes de garrafas PET e um era um produto tratado termicamente das mesmas garrafas PET. As frações fragmentadas são flácidas, com partículas em duas faixas de tamanho, finas (chamadas de PF) e grosseiras (chamadas de PC). O produto em forma de pellet tratado termicamente é esférico/cilíndrico e é denominado PP.	Substituições das proporções: 0%, 5,0%, 10% e 15%, pelo agregado grosso do tipo calcário e duas faixas de tamanho de agregados finos naturais do tipo quartzito.
RAHMANI (2013).	Resíduos de garrafas PET. Lavadas e moídas. Tamanho máximo de 7 mm. Utilizados como agregados finos no concreto.	Substituição das proporções: 0%, 5,0%, 10% e 15%, pela areia (agregado miúdo).
PEREIRA (2017).	Garrafas PET foram transformadas em fibras com comprimentos de 7, 9, 10, 15, 20 e 22 mm e largura padrão de 3 mm. A transformação da garrafa PET em fibras foi realizada com auxílio de triturador elétrico de garrafas PET com regulagem da dosagem para permitir a obtenção do comprimento desejado.	Para cada comprimento de fibras PET 10 mm, 15mm e 20 mm, foi adicionado uma proporção para 0,1%, 0,2% e 0,3%.
DAWOOD (2020).	Garrafas PET com diferentes tamanhos e cores são picadas para atingir diâmetros extremamente pequenos e partículas que podem passar pela peneira nº4.	Substituição das proporções: 5,0%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15% e 20%, pela areia (agregado miúdo).
FRIGIONE (2010).	Os resíduos de garrafas PET, possuindo uma espessura de 1 - 1,5 mm, foram triturados em moinho de lâmina com o tamanho de 0,1 – 5 mm. As partículas foram separadas, por meio de peneiras e posteriormente remontadas de acordo com a curva granulométrica do agregado fino.	Substituição da proporção de 5,0% pela areia (agregado miúdo).

De acordo com os trabalhos, resíduos de garrafas PET são adicionados ou substituídos em porcentagens diferentes e possuem uma variação de 0,1% até 50% como agregado miúdo ou graúdo nas proporções da mistura de concreto para cada trabalho estudado. Em relação à misturabilidade da fibra de reforço, é muito importante destacar que esta esteja uniformemente dispersa no concreto sem formar bolas de fibra. Assim, a capacidade de mistura foi investigada tanto por mistura manual quanto por mistura mecânica.

Estado Fresco

A trabalhabilidade é uma das principais características do concreto no estado fresco e representa a facilidade em moldagem, porém não é uma característica essencial, pois não existe uma trabalhabilidade ideal. Para analisar essa propriedade, existem alguns ensaios que são executados para determinar essa característica, como o ensaio de consistência: abatimento do tronco de cone, espalhamento do



tronco de cone e/ou aparelho de Vebe; e o ensaio de coesão: verificação à exsudação e/ou à segregação.

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), a trabalhabilidade, como propriedade do concreto de difícil definição, sua natureza composta e sua dependência do tipo de construção e dos métodos de lançamento, adensamento e acabamento são as razões pelas quais nenhum método único de ensaio pode ser projetado para medir a trabalhabilidade. O ensaio universalmente mais usado, que mede apenas a consistência do concreto, é o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, conhecido como *Slump Test*.

O *Slump Test* é um dos métodos tradicionais utilizados no Brasil, pois é de fácil execução, permitindo que seja executado em obra. É normatizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998) cujo principal objetivo é determinar a consistência do concreto em estado fresco com base em seu assentamento.

Segundo Sharma e Bansal (2015), o concreto pode ser trabalhado de acordo com os requisitos definidos, considerando que a adição de outra mistura mineral e material residual afeta a trabalhabilidade do concreto. A adição de resíduos plásticos afeta a quantidade de água livre disponível no concreto e, conseqüentemente, a trabalhabilidade do concreto.

O efeito adição/substituição de várias formas de resíduos de PET na trabalhabilidade nos trabalhos estudados é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do estado fresco.

Autor	Porcentagens de adição ou substituição	Trabalhabilidade
OCHI (2007).	Adição das proporções: 0%, 0,5%, 1,0%, e 1,5%.	Não foi realizado teste de trabalhabilidade.
ISLAM (2016).	Substituições das proporções: 0%, 20%, 30%, 40% e 50%, pelo tijolo (agregado graúdo).	A trabalhabilidade do concreto aumenta com o percentual de agregado grosso PET.
SAKIA (2013).	Substituições das proporções: 0%, 5,0%, 10% e 15%, pelo agregado grosso do tipo calcário e duas faixas de tamanho de agregados finos naturais do tipo quartzito.	O concreto referência ficou dentro do abatimento para relação água/cimento. Porém os concretos que possuíram substituição tiveram uma queda no abatimento pela relação água/cimento diminuir.
RAHMANI (2013).	Substituição das proporções: 0%, 5,0%, 10% e 15%, pela areia (agregado miúdo).	Pode-se observar que para uma relação água/cimento constante, conforme a



		quantidade de PET aumenta, o abatimento diminui.
PEREIRA (2017).	Para cada comprimento de fibras PET 10 mm, 15mm e 20 mm, foi adicionado uma proporção para 0,1%, 0,2% e 0,3%.	Não foi realizado teste de trabalhabilidade, pois as fibras foram adicionadas após a mistura do concreto, assim a preparação do ligante foi realizada de acordo com a NBR 12655, que especifica os procedimentos que devem ser adotados com o concreto em seu estado fresco.
DAWOOD (2020).	Substituição das proporções: 5,0%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15% e 20%, pela areia (agregado miúdo).	A trabalhabilidade diminuiu à medida que aumenta a porcentagem de resíduos. A taxa de substituição de 20% produz uma redução maior na trabalhabilidade do concreto (62,5%) em comparação com a referência.
FRIGIONE (2010).	Substituição da proporção de 5,0% pela areia (agregado miúdo).	Devido à porcentagem analisada ser 5%, os valores de trabalhabilidade ficaram muito próximos ao concreto referência, possuindo o mesmo teor de cimento e relação água/cimento.

É apropriado estudar os fatores que afetam a consistência e a coesão do concreto, pois esses dois componentes da trabalhabilidade podem ser influenciados de forma oposta pela mudança de uma variável específica, como consumo de água ou de cimento, pela granulometria do agregado e por outras características físicas, pelos aditivos, adições e pela perda de abatimento.

É bem conhecido que a adição de qualquer tipo de fibra em um concreto convencional reduz a trabalhabilidade. Independentemente do tipo de fibra, a perda de trabalhabilidade é consideravelmente proporcional ao volume de concentração de fibras no concreto. Como as fibras fornecem estabilidade considerável à massa de concreto fresco, a consistência pelo abatimento do tronco de cone não é um bom parâmetro de trabalhabilidade.

Ao analisar os resultados apresentados pela trabalhabilidade do concreto no estado fresco, verificou-se que houve uma redução devido à maior área superficial das partículas de resíduo PET do que as partículas de areia, decorrentes da proporção de substituição, o que permite a saturação de uma grande quantidade de água em sua superfície e, portanto, reduz a trabalhabilidade do concreto. À medida que o teor de PET aumenta, a plasticidade e a consistência do concreto fresco diminuem. Este efeito é mais significativo quando a proporção água/cimento aumenta. Além disso, nenhuma segregação foi observada em nenhuma das misturas, embora os concretos tenham sido feitos sem adição de aditivos de ligação.



Em alguns trabalhos não foi realizado o ensaio de estado fresco para verificação da consistência, visto que foi optado pela adição de partículas/grãos PET. Assim, conclui-se que, ao serem adicionadas as fibras, não haverá grande influência na trabalhabilidade devido às porcentagens de agregados não afetarem a absorção de água.

Estado Endurecido

De acordo com Freitas (2012), as características mecânicas mais importantes do concreto são: resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade. É válido ressaltar que o concreto é um material que resiste bem à compressão, porém não possui a mesma característica com as tensões de tração.

Os corpos de provas foram moldados e colocados em condição de cura específica para posteriormente serem submetidos aos testes na idade desejada. De acordo com a NBR 5738 (2015), o período de cura especificado para estruturas são de, pelo menos, 21 dias, enquanto o ideal é de 28 dias. No caso de outras idades, devem permanecer na obra pelo menos durante três quartas partes da idade de ensaio.

A Tabela 4 apresenta os períodos de cura dos corpos de prova realizados por cada trabalho. A média verificada é de 28 dias, a qual é indicada pela norma que rege os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Também estão descritos todos os ensaios de propriedades mecânicas realizados em cada experimento.

Tabela 4 – Tempo de cura x Ensaio realizados

Autor	Tempo de cura	Ensaio das propriedades mecânicas
OCHI (2007).	48 horas e 7 dias	Teste de flexão. Teste de compressão. Teste de resistência à tração para fibra.
ISLAM (2016).	21 e 28 dias	Força compressiva.
SAIKIA (2013).	7, 28 e 90 dias	Resistência à compressão. Resistência à ruptura à tração. Comportamento de abrasão.
RAHMANI (2013).	14 e 28 dias	Força compressiva. Dividindo a resistência à tração. Módulo de elasticidade. Resistência à flexão. Peso unitário fresco e seco. Teste ultrassônico.



PEREIRA (2017).	28 dias	Ensaio de compressão e tensão. Ensaio de comprimento da fibra e do volume percentual das fibras nas eficiências de compressão e tração do concreto ecológico. Modelo matemático para os dados de eficiência de compressão e tração do concreto ecológico.
DAWOOD (2020).	7, 14 e 28 dias.	Força compressiva. Dividindo a tração. Resistência à flexão. Encolhimento. Teste de absorção. Velocidade de pulso ultrassônico. Módulo de elasticidade. Absorção de energia e tensão axial.
FRIGIONE (2010).	28 e 365 dias.	Força compressiva. Força de tração dividida. Comportamento de estresse-tensão. Encolhimento

Resistência à compressão

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a resistência de um material é definida como a capacidade para resistir à tensão sem se romper. Algumas vezes, a ruptura é identificada com o surgimento de fissuras. A resistência do concreto é a propriedade mais valorizada por projetistas e engenheiros de controle de qualidade. Sharma e Bansal (2015) avaliam que a resistência à compressão é considerada a propriedade mais importante a qual depende da categorização do concreto e das características de um concreto original, desde a resistência à compressão desejada até os ingredientes.

Acredita-se que a resistência à compressão do concreto é muitas vezes maior do que outros tipos de resistência. Além disso, muitas propriedades do concreto estão ligadas à resistência, embora a relação água/cimento seja importante na determinação tanto da porosidade da matriz quanto da zona de transição na interface e, com isso, na resistência do concreto. Alguns fatores como adensamento, condições de cura, tipos de aditivos e adições, também influenciam na resistência. A teoria da tensão aplicável ao dimensionamento do concreto considera-o como bastante adequado para suportar carregamento de compressão; por isso, a resistência à compressão do material é geralmente especificada (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

As propriedades de resistência do concreto reforçado com fibras podem ser determinadas por meio de ensaios de carregamento de corpos de prova submetidos à compressão. De acordo com esses ensaios, foram avaliados pelos pesquisadores os efeitos do uso de várias formas de resíduos de PET, nas quais a relação água/cimento e proporções adicionadas ou substituídas influenciaram nos resultados finais.



Para Ochi (2007), no ensaio de compressão houve uma variação de relação água/cimento para todas as variações da fibra PET. Para todas as amostras, a deformação na carga máxima quase não mudou com a variação das relações água/cimento e diferentes conteúdos de fibra PET. Um teste de mistura foi conduzido misturando manualmente o concreto com a fibra PET produzida. Interessante notar que o concreto e as fibras PET foram misturados facilmente, mesmo quando o conteúdo volumétrico das fibras PET foi gradualmente aumentando. Assim, a interferência da adesão da matriz cimentícia do concreto com a fibra PET foi positiva, ao manter uma resistência à compressão igual e/ou semelhante ao concreto referência, em cada porcentagem analisada de relação água/cimento.

Islam (2016) investigou o efeito do plástico como um agregado graúdo natural (asparas de tijolo), substituído então por flocos de PET (agregado graúdo PET – PCA). Os resultados mostram um declínio na resistência à compressão para o concreto com substituição de PET, em comparação com a referência. As propriedades apresentadas do PCA, como superfície lisa e capacidade de absorção de água quase nula, faz com que haja acúmulo de água na zona de transição, reduzindo a resistência à compressão. Com o aumento de proporção substituída no concreto e relação água/cimento, houve uma diminuição de resistência, isto é, com o aumento da taxa de PET e da razão água/cimento, menores resistências à compressão são observadas. A resistência à compressão para 20% de PET, na relação água/cimento de 0,42, apresentou apenas 9% menor do que a referência, ou seja, restringiu a substituição do PCA em 20%, garantindo nas proporções inferiores uma resistência à compressão comparável ou superiores ao concreto referência.

Segundo Saikia (2013), independentemente do tipo de agregado PET e do tempo de cura, a resistência à compressão do concreto contendo agregado PET é inferior às do concreto referência. À medida que aumenta o teor de agregado PET no concreto, a resistência à compressão diminui proporcionalmente. As diferenças no tamanho, forma e textura dos agregados de PET afetam a relação água/cimento, o que acaba alterando o comportamento mecânico. Assim, em um dado nível de substituição desses três tipos de agregado, a tendência decrescente dessas propriedades é organizada como: PP> PF> PC. (PP – pellet esférico/cilíndrico; PF – agregado fino; PC – agregado grosso).



De acordo com Rahmani (2013), com o aumento da taxa de substituição da areia por partículas de PET, a resistência à compressão tem uma tendência de aumento no início, mas de queda depois de um período. Assim, a substituição de 5% dos agregados finos por partículas de PET resultou na resistência à compressão ideal. Segundo o autor, para 5% do conteúdo de PET, houve aumento na resistência à compressão em relação à referência de 8,86% e 11,97% foram detectados para relações água/cimento de 42% e 54%, respectivamente. Por outro lado, com o aumento do conteúdo de PET, as resistências à compressão diminuíram.

Pereira (2017) desenvolveu um modelo matemático para prever valores de eficiências compressivas e de tração em função dos parâmetros operacionais de comprimento e volume de fibras PET, com vista a estimular o uso de concreto ecológico por construtoras e empreiteiras, uma vez que os resultados podem ser estimados e a viabilidade econômica determinada antes da obra. Os resultados obtidos mostraram que o volume percentual de fibra adicionado ao concreto tem influência direta na resistência à compressão do concreto ecológico. Visto que é possível observar que o concreto ecológico produzido neste experimento foi capaz de suportar forças de compressão superiores às aplicadas ao concreto referência, com valores máximos de 14,3% e 16,6%, respectivamente. Isso provou que a capacidade de carga do concreto não armado diminui mais rapidamente do que a do concreto reforçado com fibra. Além disso, os concretos reforçados com fibras exibem considerável resistência pós-fissuração e tenacidade, uma vez que as fibras “costuram” as fissuras.

Os estudos de Dawood (2020) mostraram que a presença de partículas de PET alterou as propriedades físicas e mecânicas dos concretos produzidos, porém os estudos comprovaram que a resistência à compressão aumenta quando as porcentagens de substituição de resíduos de PET variam de 5% a 12,5%. A porcentagem ideal para o maior aumento na resistência à compressão (43,64%) em 28 dias é 7,5%. Além disso, a resistência à compressão aumentou 34,03% quando a taxa de substituição de resíduos de PET é 5%. Os resultados indicaram ainda que os parâmetros de resistência diminuem quando o teor de PET ultrapassa 15%. Em conclusão, a substituição da areia por partículas de resíduos de PET afeta positivamente os valores relacionados à resistência dos corpos de prova de concreto, desde que a taxa de substituição seja inferior a 15%.



Frigione (2010) tentou substituir no concreto os 5% em peso de agregado fino (areia natural) por um peso igual de agregados PET fabricados a partir de resíduos de garrafas PET não lavadas (WPET). No entanto, a tendência de todos os resultados mostrou uma pequena diminuição na resistência à compressão nos concretos contendo WPET. Isso pode ser atribuído à diminuição da resistência adesiva entre a superfície do resíduo plástico e a pasta de cimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se dizer que a adição de qualquer tipo de fibra em um concreto convencional reduz a trabalhabilidade. Independentemente do tipo de fibra, a perda de trabalhabilidade é consideravelmente proporcional ao volume de concentração de fibras no concreto. Visto que um dos fatores que influenciam a adição ou substituição das fibras PET no concreto é a coesão entre a textura e as partículas de PET atuam como barreira e evitam que a pasta de cimento adira aos agregados naturais. Por outro lado, este fenômeno pode ser referido às diferentes propriedades das partículas de PET que são utilizadas.

Os dados referentes à resistência à compressão foram coletados nos gráficos e tabelas disponibilizados nos artigos científicos e, assim, relacionados por meio de análise de comparação de referência com proporções de adição ou substituição de PET na composição do concreto.

A partir da revisão sistemática, pode-se concluir que a inclusão por meio de substituição de fibras de PET no concreto mostrou um aumento de resistência com taxas variando de 5% a 10% relativo ao concreto referência. A resistência à compressão para substituição de agregados miúdos/graúdos por partículas de resíduos de PET afeta positivamente os valores relacionados à resistência dos corpos de prova de concreto, desde que a taxa de substituição seja inferior a 15%. Isto é, com o aumento do conteúdo de PET, as resistências à compressão diminuem.

Por outro lado, os resultados obtidos mostraram que o volume percentual de fibra adicionado ao concreto tem influência direta na resistência à compressão, visto que as fibras de PET adicionadas no concreto nas proporções inferiores a 1,5%



garantem uma resistência à compressão superior ao concreto referência. Isso prova a capacidade de carga do concreto reforçado com fibras.

Para futuros trabalhos envolvendo o Poli-tereftalato de Etileno (PET) é interessante buscar conhecimento sobre a matriz do PET para uma aderência ao concreto mais adequada, visando melhorar o aspecto da trabalhabilidade e resistência.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. NBR NM 67. Rio de Janeiro, 1998.

_____. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. NBR 5738. Rio de Janeiro, 2016.

ARAGHI, H. J. A., NIKBIN, I., RESKATI, S. R., RAHMANI, E., ALLAHYARI, H. **Uma investigação experimental sobre a resistência à erosão de concreto contendo várias porcentagens de partículas de PET contra o ataque de ácido sulfúrico.** Departamento de Engenharia Civil, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Tecnologia Babol, Irã, 2015.

CALLISTER, JR. W. D., RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução.** 10ª Ed., GEN, Rio de Janeiro, 2020.

CHOU, Y. W., MOON, D. J., CHUNG, J. S., & CHO, S. K. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. **Cement and concrete research**, 35(4), 776-781 (2005).

CORREA. P. M. **Estudo comparativo da influência da adição de pet e pp pós-consumo na produção do concreto estrutural** (2015).

DAWOOD, A. O., AL-KHAZRAJI, H., FALIH, R. S. **Propriedades físicas e mecânicas do concreto contendo resíduos de PET como um substituto parcial agregados.** Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Misan, Iraque, 2020.

DRESCH, A., LACERDA, D. P., ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2014. 204p.

FREITAS, R. P. de. **Controle de qualidade em concreto endurecido: ensaios mecânicos.** 2012. 55 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2012.



FRIGIONE, M. **Reciclagem de garrafas PET como agregado fino em concreto.** Departamento de Engenharia para Inovação, Universidade de Salento, Itália, 2010.

ISLAM, M. J., MEHERIER, M. S., ISLAM, A. R. **Efeitos dos resíduos de PET como agregado grosso nas propriedades frescas endurecimento do concreto.** Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Islâmica de Tecnologia, Canadá, 2015.

LACERDA, R. T. O., ENSSLIN, L., ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n.1, p. 59-78, 2012.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo JM. Concreto: Microestrutura. **Propriedades e Materiais**, 2ª Ed., IBRACON, São Paulo, 2014.

OCHI, T., OKUBO, S., FUKUI, K. **Desenvolvimento de fibra PET reciclada e sua aplicação como fibra de reforço de concreto.** Departamento de engenharia de geossistema, Universidade de Tóquio, Tóquio, 2007.

PLASTGIL Plásticos. Disponível em: <https://plastgil.com.br/produtos/pet-granulado/>. Acesso em: 22 de novembro de 2020.

PEREIRA, E. L., JUNIOR, A. L. de O., FINEZA, A. G. **Otimização das propriedades mecânicas em concreto armado com fibras de resíduos sólidos urbanos (garrafas PET) para a produção de concreto ecológico.** Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Brasil, 2017.

RAHMANI, E., DEHESTANI, M., BEYGI, M., ALLAHYARI, H., NIKBIN, I. **Sobre as propriedades mecânicas do concreto contendo resíduos de partículas de PET.** Faculdade de Engenharia Civil, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Tecnologia Bagol Noshivani, Irã, 2013.

SAIKIA, N., BRITO, J. **Propriedades mecânicas e comportamento à abrasão do concreto contendo resíduos de garrafas PET trituradas como uma substituição parcial do agregado natural.** Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2013.

SCIENCE DIRECT. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 06 de junho de 2021.

SHARMA, R., BANSAL, P. P. **Uso de diferentes formas de resíduos de plástico em concreto e uma revisão.** Departamento de Engenharia Civil, Universidade Thapar, Índia, 2015.

Capítulo 4
CONTROLE DE UMIDADE DA CURA DO
CONCRETO OU ARGAMASSAS UTILIZANDO
A PLATAFORMA ARDUINO

Anna Camila Vieira Ribeiro
Maylane Gonçalves Rodrigues
Daniel Moraes Santos





CONTROLE DE UMIDADE DA CURA DO CONCRETO OU ARGAMASSAS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO

Anna Camila Vieira Ribeiro¹

Formanda em Engenharia Civil (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri)

Maylane Gonçalves Rodrigues²

Formanda em Engenharia Civil (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri)

Daniel Moraes Santos³

Docente Adjunto na UFVJM, atua na área de Eletrotécnica, processamento de Sinais e Imagens, graduado em Engenharia Elétrica, especialista em Docência do Ensino Superior, mestre e doutor em Engenharia Elétrica.

Resumo: O concreto é uma das variáveis mais importantes do sistema parede de concreto. Porém, atualmente, ainda se observa que em vários empreendimentos não se executa o processo de cura de maneira correta após uma concretagem. A execução desse processo é de suma importância, pois caso não seja realizado adequadamente, ou seja, não havendo uma perfeita hidratação do cimento pode ocorrer perda da resistência, pois parte do cimento vai ficar anidro. O presente trabalho tem como finalidade realizar o controle da umidade no processo de cura em um corpo de prova de concreto e, com o apoio da tecnologia Arduino, manter a umidade no nível aconselhável. Além disso, o sistema contará com uma válvula solenoide (127V) para umidificar o concreto quando necessário. Para realizar a leitura da umidade, será utilizado um sensor de umidade onde, o mesmo será instalado dentro do concreto e assim irá enviar as informações referentes à umidade para o Arduino. Tendo em vista que a falta de mão de obra para umidificação contínua do concreto é um fator presente nos dias de hoje, e também na quantidade certa, essa alternativa foi proposta para substituir este trabalho manual por um modo automático. Por fim, será feita uma análise da resistência atingida pelo concreto após ser efetuado o ensaio de compressão.

Palavras-chave: Concreto, Arduino, Umidade, Cura.

¹ Bacharel em Ciência e Tecnologia, Graduanda em Engenharia Civil - anna.camila@ufvjm.edu.br.

² Bacharel em Ciência e Tecnologia, Graduanda em Engenharia Civil - maylane.rodrigues@ufvjm.edu.br.

³ Graduação em Engenharia Elétrica, Especialista em Docência do Ensino Superior, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica – daniel.moraes@ufvjm.edu.br.



Abstract: Concrete is one of the most important variables of the concrete wall system. However, currently, it is still observed that in several projects the curing process is not carried out correctly after concreting. The execution of this process is of paramount importance, because if it is not carried out properly, that is, if the cement is not perfectly hydrated, resistance may be lost, as part of the cement will become anhydrous. The present work aims to control the humidity in the curing process in a concrete specimen and, with the support of Arduino technology, maintain the humidity at the recommended level. In addition, the system will have a solenoid valve (127V) to humidify the concrete when necessary. To perform the moisture reading, a moisture sensor will be used where it will be installed inside the concrete and thus will send the information regarding moisture to the Arduino. Considering that the lack of labor for continuous humidification of concrete is a factor present today, and also in the right amount, this alternative was proposed to replace this manual work by an automatic mode. Finally, an analysis of the strength achieved by the concrete after the compression test will be carried out.

Keywords: Concrete, Arduino, Moisture, Healing.

1. Introdução

O concreto é um dos materiais de construção civil mais utilizado em todo o mundo. Essa enorme aceitação do concreto como um dos mais nobres materiais de construção civil justifica-se pela sua versatilidade, durabilidade e resistência. (BARDELA; BARBOSA; CAMARINI, 2005, p. 1).

Segundo Isaia (2012) *apud* Diniz *et al.* (2015), para a confecção do concreto é necessário cumprir diversas etapas que são fundamentais para garantir e conferir suas características nos estados fresco e endurecido, sendo que as propriedades do concreto endurecido dependem direta ou indiretamente da água.

Umas das etapas é o processo de cura, que consiste em impermeabilizar o concreto, após o término da “pega”, com uma camada de água ou vapor de água, impedindo a interferência de substâncias externas nas reações de hidratação dos compostos cimentícios e evitando a evaporação da água de amassamento. (DINIZ, 2015, p. 19).

Podemos designar por cura, o conjunto de operações ou procedimentos adotados para proteger a superfície dos elementos estruturais (contra temperaturas muito altas ou muito baixas, impactos, desgastes prematuros, dessecação prematura) e, principalmente, evitar que a água usada no amassamento e destinada à hidratação do cimento evapore precocemente ao ambiente pelas regiões superficiais do concreto. (FIGUEIREDO *apud* HELENE; LEVY, 2013, p. 5).

O objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados



pelos produtos da hidratação do aglomerante. (BARDELA; BARBOSA; CAMARINI, 2005, p. 2).

Entre os vários métodos de cura empregados, o mais comumente utilizado é o da molhagem constante, que consiste em molhar repetida e constantemente as peças em concreto, fazendo-se uso de uma mangueira. (LIMA, 2017, p. 18).

Em contrapartida, para que esse método da molhagem constante seja aplicado, é necessário que tenha pessoas com disponibilidade o tempo inteiro para realizar este trabalho, tendo em vista que, o recomendado é não interromper, de forma alguma, essa molhagem até que a cura do concreto seja finalizada.

Rotineiramente, observa-se a interrupção do processo de molhagem ao final do dia e sua retomada no dia seguinte. Nesse contexto, importa ressaltar que, mesmo que ocorra no período da noite, implica a diminuição dos ganhos de resistência do concreto no período, assim como outros prejuízos à durabilidade da estrutura. (PEINADO, *apud* LIMA, 2017, p. 19).

Levando em consideração esse fato, pode-se dizer que esse descuido ocorre devido à baixa mão de obra disponível. Portanto, para que este aspecto seja melhorado, a alternativa sugerida é uma automatização do processo de cura do concreto. Para a realização dessa automatização, o sistema tecnológico adotado será o Arduino, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única.

O Arduino é uma pequena placa de micro controlador contendo um plugue de conexão USB que permite a ligação com um computador. Além disso, contém diversos outros terminais que permitem a conexão com dispositivos externos, como motores, relés, sensores luminosos, diodos a laser, alto-falantes e outros. (SARTORI; MOLINA; LIMA, 2015, p. 32).

Logo, utilizando a plataforma Arduino, planeja-se elaborar um mecanismo para que a umidade da cura do concreto seja controlada por meio de um sensor de umidade. Além disso, para complementar o trabalho, quando a umidade do concreto estiver abaixo da desejada, será ativado um mecanismo onde uma válvula solenoide de irá molhar o concreto, fazendo com que a sua umidade volte para o recomendando e não prejudique o seu processo de cura.



2. Fundamentação Teórica

2.1 Arduino

O Arduino foi lançado no mercado em 2005 por Massimo Banzi e David Cuartielles com o objetivo de ajudar no ensino de programação trazendo recursos que iria ajudar os estudantes a programar de forma mais rápida e fácil devido o Software e Hardware ser de fonte aberta (MCROBERTS, 2011).

O Arduino é um pequeno computador com entradas e saídas que pode controlar outros dispositivos que são conectados a ele, essa interação se dá por meio do Software e Hardware, e para programar o Arduino deve-se utilizar um programa, que é o IDE (Integrated Development Environment) do Arduino, onde é escrito os códigos e depois enviado ao Arduino para que ele execute as instruções programadas (MCROBERTS, 2011).

A placa Arduino é formado por uma plataforma de microcontrolador AVR da Atmel que recebe um código via cabo USB que é programado no computador com o objetivo de gerenciar e controlar sensores de entrada e saída (MARTINAZZO et al. 2014).

Os sensores tem a função de captar uma informação e enviar para o Arduino e esses dados podem ser armazenado para que depois possam ser feito o tratamento em planilhas eletrônicas, nas quais os resultados vão ser utilizado na tomada de decisão (MCROBERTS, 2011).

Uma das grandes vantagens do Arduino é a facilidade de sua utilização, pois não é necessário ser um grande programador para programar o Arduino, pessoas com pouca experiência na área de programação consegue aprender o necessário para poder criar seus próprios código, além disso muitas pessoas compartilham os códigos em comunidades para que outras pessoas tenham acesso a eles, o que facilita ainda mais a programar o Arduino (MCROBERTS, 2011).

2.2 Concreto

O concreto é o principal componente utilizado para as construções, sendo um elemento heterogêneo composto por cimento, água e agregados como pedra, areia etc., podendo ser acrescentado outros aditivos. Quando misturados, esses elementos recebem o nome de dosagem e formam uma liga que poderá ser moldada, assumindo



em diferentes formas e possuindo diversas aplicações. A preparação do concreto pode ser feita manualmente ou em betoneiras no próprio canteiro de obras, recebendo assim o nome de concreto (in loco), como também pode ser preparado em centrais dosadoras, ou seja, em usinas centrais de concreto, o que faz com que o concreto receba a nomenclatura de concreto usinado ou pré-misturado, possuindo cada uma suas vantagens e desvantagens (COUTO et al. 2013).

Quando o concreto é utilizado como material estrutural recebe a denominação de concreto estrutural que pode ser de três tipos diferentes: concreto simples sem qualquer tipo de armadura; concreto armado quando há uma armadura não pré-tracionada (protendida); e concreto protendido quando há uma armadura que é ativa pré-tracionada (protendida). No momento em que se acrescentam as ferragens passivas em uma fôrma, o concreto comum é adicionado de uma armadura de aço e passa a ser conhecido como concreto armado, que se tratando de construções prediais, é utilizado principalmente para a confecção de lajes, vigas, fundações e pilares, garantindo uma melhor sustentação tendo em vista que o concreto e a armadura trabalham juntos e solidariamente, mais cada uma com uma função diferente no tocante dimensionamento (COUTO et al. 2013).

Ele é o material estrutural de maior uso na atualidade, não é nem tão resistente nem tão tenaz quanto o aço, mas possui excelente resistência à água. Ao contrário da madeira e do aço comum, a capacidade do concreto de resistir à ação da água, sem deterioração séria, faz dele um material ideal para estruturas destinadas a controlar, estocar e transportar água. De fato, uma das primeiras aplicações conhecidas do concreto consistiu em aquedutos e muros de contenção de água, construídos pelos romanos. (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

As razões para o uso tão difundido do concreto são: a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos; mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obra (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A durabilidade inadequada se manifesta por uma deterioração que pode ser originada por fatores externos ou por causas internas no interior do próprio concreto. As diferentes formas de ação podem ser físicas, químicas ou mecânicas (NEVILLE, 1997).

As causas físicas compreendem os efeitos de altas temperaturas ou de diferenças de coeficiente de dilatação térmica do agregado e da pasta de cimento



hidratado. As causas químicas de deterioração podem incluir as reações álcali-sílica e álcali-carbonato. O ataque químico externo ocorre principalmente pela ação de íons agressivos, como cloretos, sulfatos ou dióxido de carbono e muitos líquidos e gases naturais ou industriais. Já as causas da deterioração mecânica podem ser impacto, abrasão, erosão ou cavitação (NEVILLE, 1997).

2.3 Cura

Com o objetivo de obter um concreto de boa qualidade, após a dosagem e a produção do concreto anteriormente citados, é necessário a realização da cura para o desenvolvimento da resistência. Para Neville e Brooks (2013), os procedimentos de cura consistem em controle de temperatura e movimento de água de dentro para fora do concreto e vice-versa.

Ainda segundo Neville e Brooks (2013), a necessidade de cura é explicada a partir do fato de que a hidratação do cimento somente pode ocorrer em capilares preenchidos de água, por essa razão tem-se a preocupação de evitar a perda de água pelos poros do concreto. Powers (1958) apresenta em seu estudo um modelo matemático que comprova a necessidade de cura por longos períodos para concretos com elevada relação água/cimento, em conformidade ao que diz também Helene e Levy (2013), que é o caso de pequenas construções, objetivo deste trabalho.

3. Metodologia de Pesquisa

Com os materiais necessários em mãos, o primeiro passo a ser realizado foi à elaboração de um código na plataforma Arduino com todas as condições necessárias para o funcionamento desse mecanismo.

Após a criação do código, seria necessário realizar a confecção de um corpo de prova de concreto, no Laboratório 108 do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET), na Universidade Federal dos Campos do Jequitinhonha e Mucuri, em Teófilo Otoni/MG, porém, não foi encontrada a brita no dia da confecção, sendo assim, no dia 18 de novembro de 2019, o corpo de prova confeccionado para monitorar o seu processo de cura, por meio da programação realizada na plataforma Arduino, foi de argamassa (cimento + areia + água).



Para que no fim do experimento pudesse ser feita uma comparação da resistência obtida pela argamassa após seu processo de cura, foram confeccionados dois corpos de prova para que, o processo de cura de um deles pudesse ser realizado dentro de uma caixa d'água e o outro por meio do sistema de automação elaborado.

No dia seguinte (19/11), os corpos de prova foram retirados das formas e encaminhados para seus respectivos locais a fim de efetuarem o processo de cura.

O modelo do sensor de umidade do solo que foi utilizado neste trabalho possui as seguintes configurações: quando o solo está seco, o nível lógico dele é 1 (um), e quando o solo está úmido o seu nível lógico é 0 (zero). Mas, vale ressaltar que, essas configurações que são estabelecidas para o controle da umidade do solo funcionam perfeitamente para o objetivo principal deste trabalho, que é o controle da umidade do concreto, ou de forma mais específica, a argamassa.

Na programação realizada no Arduino, para que a válvula pudesse ser ativada e conseqüentemente iniciar a molhagem do corpo de prova, foi definido que quando o sensor indicar uma umidade menor que 0,3 a válvula solenoide não seria ativada, isso porque a argamassa ainda encontra-se com uma umidade aconselhável, mas, a partir do momento que a umidade estiver maior ou igual a 0,3 a válvula é ativada e o processo de molhagem no corpo de prova é iniciado e só irá finalizar quando a argamassa atingir uma umidade abaixo de 0,3. Lembrando que, todo esse processo ocorre totalmente de maneira automática.

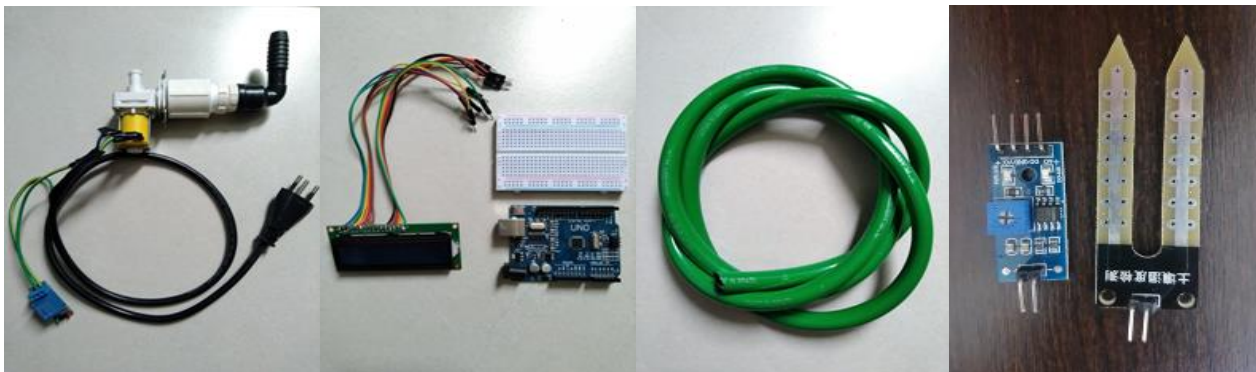
Para a elaboração deste projeto, foram utilizados os seguintes materiais:

- Arduino UNO;
- Sensor de Umidade do solo;
- Válvula Solenoide para Água 127V 90° ($\frac{3}{4}$ x mangueira $\frac{3}{8}$) VA 05;
- Módulo relé 5V;
- Protoboard 400 pontos;
- Display LCD 16x2 (Azul);
- Jumper Premium 40p x 20cm - Macho / Fêmea;
- Bucha de redução com rosca $\frac{3}{4}$ x $\frac{1}{2}$;
- Adaptador para mangueira;
- Luva com rosca $\frac{3}{4}$;
- Rosca niple $\frac{1}{2}$;
- Mangueira.



Alguns estão sendo identificados, abaixo, na Figura 1.

Figura 1 – Materiais utilizados no projeto



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

4. Análise de Dados

Após a confecção do corpo de prova e elaboração do código, foi possível realizar a montagem do sistema para que o processo de monitoramento pudesse ser exercido. A Figura 2 demonstra o sistema criado.

Uma vez que o monitoramento foi realizado na varanda de um apartamento, fez-se necessário realizar algumas adaptações para o funcionamento do mecanismo, como, uma bacia com água e um banco que serviu de apoio para a válvula. O uso da bacia foi necessário porque na varanda não possuía torneira para que a mangueira pudesse ser conectada e assim, fornecer água para a válvula a fim de molhar o corpo de prova.

Figura 2 – Sistema desenvolvido



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.



Como citado anteriormente, quando o sensor de umidade detectasse um valor maior ou igual a 0,3 a válvula solenoide iria ativar e, conseqüentemente realizar o processo de molhagem no corpo de prova. Na Figura 3, pode-se observar como foi o funcionamento desse processo no período que a válvula estava ativada.

Figura 3 - Processo de molhagem no corpo de prova



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Este processo ocorreu em um período de 7 dias e, em seguida, o corpo de prova foi encaminhado para o Laboratório 108 do ICET com a finalidade de realizar seu rompimento, juntamente com o outro corpo de prova que teve seu processo de cura totalmente imerso em água, e comparar os resultados.

Ao realizar o rompimento de ambos, obtiveram os valores das cargas suportadas por cada um dos corpos de provas e também os valores da resistência à compressão. Esses dados podem ser observados na Tabela 1 sendo que, o corpo de prova 1 e 2 representam, respectivamente, o que permaneceu imerso em água e o que realizou o monitoramento por meio do Arduino.

Tabela 1 - Resistência dos corpos de prova de argamassa

Corpo de prova	Força [KN]	Fck [MPa]
1	207,6	26,44
2	148,7	18,94

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

A partir dos valores que foram apresentados na Tabela 1, é notório uma maior resistência no corpo de prova que permaneceu imerso na água, em tempo integral,



durante os sete dias, obtendo assim uma resistência de 26,44 MPa. Em contrapartida, o corpo de prova que foi molhado por meio do sistema de automação, elaborado para este projeto, apresentou uma resistência de 18,94 MPa.

Nas Figuras 4 e 5, pode-se verificar, respectivamente, o momento de ruptura do corpo de prova que realizou o monitoramento e como o mesmo ficou após ser retirado do equipamento que foi utilizado para o ensaio de compressão.

Figura 4 - Momento de ruptura do corpo de prova monitorado



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Figura 5 - Estado do corpo de prova após o ensaio de compressão



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Devido à ausência de uma torneira no local onde foi instalado o equipamento desenvolvido para o monitoramento do corpo de prova, que obteve menor resistência, não foi possível manter a mangueira sempre com água para abastecer a válvula quando necessário. A molhagem do corpo de prova dependia exclusivamente da água que se encontrava na bacia, já que o sistema estava funcionando normalmente, com isso, ocorreram algumas falhas no decorrer do processo.

Era necessária a utilização de mão de obra para abastecer a única fonte que iria fornecer fluido para a válvula molhar o corpo de prova, ou seja, a bacia. Porém, teve horários durante os sete dias que não havia moradores no local, sendo assim, a bacia ficou sem água em alguns momentos que a válvula estava ativa, logo, o corpo de prova não pode ser molhado.

Esse fator com certeza influenciou na resistência final do corpo de prova, ocasionando assim, essa diferença de 7,5 MPa.



5. Considerações finais

No presente trabalho, mesmo com as falhas que ocorreram e com a utilização dos corpos de prova de argamassa em vez de concreto, todos os objetivos foram alcançados de modo que, o sistema desenvolvido funcionou como era previsto.

Os erros obtidos provavelmente foram ocasionados pelo fato de não possuir uma torneira, para que assim, a mesma pudesse permanecer sempre ligada durante os sete dias de monitoramento. Logo, acredita-se que se este mesmo processo for realizado novamente e, não acontecer esse tipo de impedimento, os resultados a serem obtidos serão ainda mais satisfatórios.

Além disso, outro fator que influenciou nos resultados finais foi o tempo de monitoramento do corpo de prova. A literatura recomenda-se 28 dias como sendo o tempo ideal para a cura do concreto. Neste trabalho os corpos de provas foram controlados por um período de sete dias e, quando analisados, os resultados mostraram que a resistência foi menor do que o esperado. Então, conclui-se que quanto maior o tempo da cura do concreto, maior será a resistência atingida.

Por mais que este período de 28 dias é recomendado para a cura do concreto, o corpo de prova de argamassa, que foi utilizado neste projeto, se comporta da mesma maneira, quanto maior for seu tempo de cura, conseqüentemente maior será sua resistência.

Geralmente, no período noturno não é feita a molhagem do concreto na maioria das obras, então se durante 28 dias, que é o recomendado para a cura do concreto, o mesmo permanecer 28 noites sem ser molhado, com certeza irá afetar na sua resistência, tornando-se então mais baixa do que se o concreto estivesse sido molhado constantemente.

Portanto, percebe-se por meio deste sistema que o mesmo pode ser aplicado em situações reais, como por exemplo, ao construir lajes, o processo de irrigação que é realizado de forma manual, pode ser perfeitamente substituído por este mecanismo, fazendo com que ocorra uma molhagem constante no concreto sem que aconteçam interrupções, principalmente no período noturno.



Referências

- BARDELLA, P. S.; BARBOSA, D. C.; CAMARINI, G. **Sistemas de cura em concretos produzidos com cimento portland de alto-forno com utilização de sílica ativa**. 1º. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado, São Carlos, 2005.
- BESERRA, S, A. **Influência do tipo e do tempo de duração de cura nas propriedades mecânicas de concreto de alto desempenho (CAD) produzidos em período quente ($t > 25^{\circ}\text{C}$) e baixa umidade relativa do ar ($h < 50\%$)**. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Escola De Engenharia Civil, Universidade Federal De Goiás, Goiânia, 2005.
- COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A. **O Concreto com Material de Construção**. Cadernos de Graduação: Ciências Exatas e Tecnologias. 2013.
- DINIZ, H. A. A. *et al.* **Influência da cura por imersão em concretos convencionais**. Revista Tecnologia & Informação, n. 3, mai. 2016.
- HELENE, P.; LEVY, S. **Cura do concreto**. ALCONPAT Internacional, Mérida - México, mar. 2013.
- JUNIO, A. S. F.; JUNIOR, M. O. V. **Influências climáticas na cura do concreto**. IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, João Pessoa-PB, 2013.
- LIMA, F. T. **Sistema de monitoramento e controle de umidade em concreto em processo de cura**. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações) – Faculdade De Engenharia Elétrica, Universidade Federal De Uberlândia, Patos de Minas, 2017.
- MARTINAZZO, C. A.; TRENTIN, D. S.; FERRARI, D.; PIAIA, M. M.; Arduino: uma tecnologia no ensino de física. **Perspectiva, Erechin**. V.38, n.143, p21-30, setembro/2014.
- MCROBERTS, M. **Arduino básico**. São Paulo, SP: Novatec, 2011.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994, p. 01-02.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997, p. 220.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.
- POWERS, T. C. **Structure and physical properties of hardened Portland cement paste**. Journal of the American Ceramic Society, Chicago, v. 41, 1958, 7 p. ISSN 0002-7820.



VELASCO, L. **A importância da cura do concreto.** PET Engenharia Civil - UFJF. Disponível em: <<https://petcivilufjf.wordpress.com/2018/10/01/a-importancia-da-cura-do-concreto/>>. Acesso em: 18 out. 2019.

Capítulo 5
RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO BRASIL: O
QUE DEVE SER FEITO PARA O SETOR
CRESCER?

Leonardo Fagundes Rosembach Miranda

Hewerton Bartoli

Vanessa Vogt

Thaísa Mariana Santiago Rocha

Antônio Acácio de Melo Neto





RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO BRASIL: O QUE DEVE SER FEITO PARA O SETOR CRESCER?

Leonardo Fagundes Rosembach Miranda

(Corresponding author). Universidade Federal do Paraná. E-mail: reciclagem.miranda@gmail.com

Hewerton Bartoli

Abrecon. E-mail: hewerton@r3ciclo.com.br

Vanessa Vogt

Instituto Federal do Paraná. E-mail: vogt.vanessa@gmail.com

Thaís Mariana Santiago Rocha

Universidade Federal do Paraná. E-mail: thaisamsrocha@yahoo.com.br

Antônio Acácio de Melo Neto

Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: antoniodemelo@gmail.com

RESUMO

A alta geração de RCD tem causado diversos problemas. A revisão bibliográfica exemplifica ações importantes que foram aplicadas em diversos países para aumentar a reciclagem, melhorar a gestão, reduzir a deposição irregular, o gasto de recursos públicos, etc., que podem gerar resultados positivos se implantadas em outros países e que deviam ser aplicadas no Brasil, com ou sem adaptações. Foram obtidos dados a partir de um questionário formulado pelos autores e disponibilizado no Google e de um projeto de pesquisa desenvolvido por alguns dos autores. Os resultados obtidos por este levantamento apresentam um panorama da reciclagem no Brasil e suas principais inovações, com dados importantes a respeito de usinas, percentual de RCD reciclado, características operacionais, dificuldades e avanços tecnológicos. Ou seja, apresentam bem as características atuais da reciclagem no Brasil, mas não apresentam propostas relativas à gestão pública do RCD no país, seja para reduzir o volume de resíduo gerado ou despejado em local irregular, para aumentar a quantidade e a qualidade das usinas instaladas ou para aumentar a quantidade de agregado reciclado consumido, evidenciando assim algumas alternativas práticas que poderiam causar uma melhora significativa na gestão do RCD. Algumas delas possuem eficiência comprovada em outros países e estão apresentadas na revisão



bibliográfica. Como conclusões têm-se que, entre as principais necessidades para o aumento da reciclagem do resíduo classe A no país, pode-se citar o apoio do setor público, não só no aumento do consumo de agregado reciclado, mas também na criação de leis que incentivem ou obriguem a triagem, reutilização e reciclagem de RCD em obras públicas e privadas, independentemente do porte da obra. Comparando a revisão bibliográfica com os resultados da pesquisa, é notório que, apesar dos avanços técnicos obtidos, como desenvolvimento de equipamentos modernos, atualização da norma 15116 e crescimento do percentual reciclado, ainda existe uma falta de política pública racional focada na redução da geração de resíduos, no reuso ou reciclagem do resíduo Classe A na obra, destino correto do Classe B e na não utilização de materiais que gerem resíduos classe C e D. Isso poderia reduzir o custo de obras públicas, privadas e da limpeza pública. Foi possível observar um avanço no número de usinas instaladas e na tecnologia das usinas móveis, mas ainda é necessário mais suporte para que essa atividade se mostre realmente atrativa para o setor privado. Para isso, algumas propostas são apresentadas. Ou seja, os resultados obtidos na pesquisa apresentam contribuições científicas e tecnológicas. Porém, mais que isso, o artigo apresenta propostas e o caminho que a reciclagem deve seguir para continuar crescendo de maneira responsável.

Palavras-chave: RCD, reciclagem, usina móvel, Brasil, Abrecon.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores econômicos mais importantes do Brasil. Pode-se afirmar que cerca de 8% das pessoas empregadas no país trabalham na construção civil (CBIC, 2018).

Por outro lado, a construção civil causa grande impacto ambiental devido ao consumo de matérias-primas, energia, água e pela geração de RCD (resíduos de construção e demolição).

A sustentabilidade da construção civil é uma necessidade do mundo em desenvolvimento (THOMAS, 2017). Isto porque este setor representa 13% da economia global (BANIHASHEMI et al., 2018), consome cerca de 40% da energia total e gera 30% das emissões de gases de efeito estufa (LI et al., 2017). Além disso, utiliza 40% do total de matérias-primas extraídas globalmente e produz cerca de 35% do lixo mundial (DI MARIA et al., 2018). É capaz de gerar, ainda, fluxos significativos de gases de efeito estufa e dióxido de carbono na atmosfera (DOBROVOLSKIENĖ et al., 2017).

Os RCD superam 800 milhões de toneladas por ano na União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2017).

No Brasil, Pinto (1999) chegou em um índice de geração média de 0,50 toneladas de RCD/ hab/ ano ou 150 kg/ m² construído, o que pode representar 54% a 70% do RSU (resíduos sólidos urbanos). Aproximadamente metade são resíduos



classe A que, de acordo com a resolução Conama 307 (BRASIL, 2002), são aqueles reutilizáveis ou recicláveis como agregados.

Considerando um total de 260 dias por ano (descontando sábado e domingo), o índice de 0,50 tonelada de RCD/ habitante/ ano produzidos no país (PINTO, 1999), uma massa unitária do RCD classe A de 1.200 kg/m³ e a previsão de população no Brasil de 209.200.000 em 2018 (IBGE, 2017), é possível estimar que são produzidos no país cerca de 402.307 toneladas de RCD por dia, sendo que grande parte poderia servir como agregado para várias obras, diminuindo custos públicos, privados e problemas sociais.

Nem todo este volume é reciclável, por várias possíveis razões: pela falta de tecnologia para a reciclagem, por falhas de triagem, pelo fato da maioria das usinas brasileiras não possuir processos de remoção de impurezas a úmido ou a seco, por falta de políticas públicas eficientes, etc.

No Brasil, o descarte irregular do RCD tem causado proliferação de vetores, assoreamento de rios, enchentes, entupimento de galerias e desperdício dos recursos públicos.

Apesar do RCD ser considerado de baixa periculosidade, nestes resíduos podem ser encontrados materiais orgânicos, hidrocarbonetos e outros produtos que podem acumular água e favorecer a proliferação de doenças (KARPINSK et al., 2009).

Em 2010, a média da taxa de reciclagem de RCD nos países pertencentes à União Europeia atingiu 47% (PACHECO-TORGAL, 2013). A meta da Diretiva 2008/98 da União Europeia, que estabeleceu um objetivo mínimo de reutilização, reciclagem e recuperação de materiais de RCD não perigoso de 70% em peso até 2020, só foi alcançada por 5 países: Holanda, Dinamarca, Estônia, Alemanha e Irlanda.

A incorporação de materiais reciclados em produtos de construção é uma das soluções para a redução do volume de resíduos descartados em aterros, contribuindo para reduzir o uso de matérias-primas minerais e diminuir a emissão de carbono da indústria da construção (MEYER, 2009). É importante garantir que esta incorporação não dificulte reciclagens futuras.

A composição do RCD é considerada heterogênea, dependendo da técnica de construção e dos materiais empregados (BORGHI; PANTINI; RIGAMONTI, 2018; GÁLVEZ-MARTOS et al., 2018). A fração inerte não perigosa é a mais abundante (DE MELO; GOLÇALVES; MARTINS, 2011) e, a partir desta, os produtos secundários podem ser recuperados, reutilizados ou reaproveitados na construção civil e em obras



rodoviárias, em substituição ou em combinação com recursos minerais naturais (BORGHI; PANTINI; RIGAMONTI, 2018). No Brasil, devido ao método construtivo usado, é possível consumir todo o resíduo classe A gerado por uma obra nova se, aproximadamente, 40% do agregado natural for substituído por reciclado na produção de argamassas de assentamento de blocos, revestimento de paredes e contrapiso, que são aplicações sem função estrutural, com a vantagem de provável redução no consumo de cal. Isto é fácil de concluir considerando, como estimativa, que em obras são gerados cerca de 150 kg de RCD por m² de obra, sendo que cerca de 55% é classe A e que são consumidos aproximadamente 0,17 m³ de argamassa por m² construído.

Supondo que o RCD Classe A possa ser completamente convertido em agregado reciclado, isso corresponderia a cerca de 11% da demanda por agregados de construção na Europa. Mesmo que o RCD beneficiado pudesse ser completamente reincorporado em produtos de construção, cerca de 90% da demanda precisaria ser satisfeita com materiais de fontes naturais. Ou seja, o impacto da reciclagem do RCD no mercado do agregado natural pode ser considerado pequeno.

Um gargalo no gerenciamento de RCD é a variação na qualidade dos materiais reciclados produzidos pelas usinas de reciclagem de RCD. Essa falta de padrão de qualidade para a reciclagem de RCD levou a maioria dos países a cumprir os requisitos da DQA 2008/98 investindo em aplicações de baixa qualidade, por exemplo, produzindo agregados reciclados para base rodoviária e aterro (BIOINTELLIGENCESERVICE, 2011; HU et al., 2013; LNE, 2012).

A reciclagem em aplicações de baixa qualidade pode ser rotulada como *downcycling*, ou seja, a prática de usar material reciclado para uma aplicação de menor valor que o objetivo original do material (ALLWOOD, 2014). A demanda por agregados de baixa qualidade no mercado europeu diminuiu bastante, e países como a Bélgica e a Holanda estão enfrentando um problema de saturação na oferta de agregados de baixa qualidade dos processos de reciclagem de resíduos, com uma oferta muito maior que a demanda (HU et al., 2013; LNE, 2012).

Rotas alternativas de reciclagem são necessárias. Além dos desafios técnicos a serem enfrentados, ligados à qualidade e à confiabilidade, devem ser consideradas a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica do processo de reciclagem de alta qualidade.



Como benefícios ambientais da tributação dos recursos naturais, podem ser citados: evitar o esgotamento de matérias-primas, diminuir a produção de resíduos e as emissões de outros poluentes durante as operações de extração e incentivar o uso de agregado reciclado (SÖDERHOLM, 2011).

Além da tributação do agregado natural, aumentar o valor da taxa de aterro é uma abordagem eficaz para incentivar o setor da construção civil a produzir menos resíduos e reutilizá-los/reciclá-los. O Reino Unido, por exemplo, introduziu um imposto sobre aterros sanitários em 1996 que é aplicado aos resíduos descartados em aterros licenciados (HURLEY et al., 2001). Foi observado que o aumento dos impostos e taxas de aterro leva os geradores de resíduos a investirem em sistemas de coleta separados para diferentes opções de recuperação e reciclagem (EEA, 2009).

O imposto sobre o aterro entre os membros da União Europeia varia significativamente, de 3 € / tonelada a bem mais de 100 € / tonelada, dependendo do país e do tipo de resíduo (CEWEP, 2017). Em comparação com outros tipos de resíduos, o RCD geralmente possui uma taxa mais baixa de aterro.

À medida que o tamanho da usina de reciclagem aumenta, os custos de produção do agregado reciclado tendem a diminuir. A eficiência operacional também melhora com o aumento da escala, levando a custos variáveis mais baixos. Naturalmente, a distância do local da construção / demolição à usina estacionária mais próxima pode ser tal que os custos de transporte prejudiquem a viabilidade econômica da reciclagem de RCD nessas usinas. Nesses casos, pode ser melhor aumentar a receita aproveitando as usinas móveis. A viabilidade dessa abordagem em relação ao uso de usinas estacionárias de reciclagem tem que ser calculada (ZHAO et al., 2010). Mas é inegável que o uso de usinas móveis com capacidade de produção suficiente para atender a necessidade de reciclagem de vários municípios pequenos e próximos, por exemplo através da formação de consórcios intermunicipais, pode ser uma alternativa economicamente interessante.

No Brasil, houve uma aceleração na quantidade de usinas instaladas a partir de 2002 com a publicação da resolução nº 307 do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

Com o crescimento deste setor surgiu a necessidade de fortalecê-lo e organizá-lo e, em 2011, foi criada a Abrecon.

Devido à necessidade de se conhecer melhor as características e necessidades do setor de reciclagem de RCD no Brasil, a Abrecon desenvolveu a



Pesquisa Setorial de 2013, 2014-2015, 2017/2018, cuja maior parte dos resultados é apresentada neste artigo, com análise crítica e comentários adicionais, além de outras informações.

As informações apresentadas na Pesquisa Setorial da Abrecon sobre o setor da reciclagem de RCD no Brasil dão um panorama de como o setor está, o que auxilia na definição de novas estratégias para ele se desenvolver. E comparando-as com o que tem sido aplicado em outros países, principalmente na Europa, há décadas, torna possível traçar um rumo para que o setor se desenvolva.

Apesar da importância e do crescimento apresentado, empreender na reciclagem de entulho no Brasil ainda não tem sido fácil. Além da necessidade de melhorar a triagem do RCD no canteiro para que seja possível obter agregados reciclados mais limpos, é importante que o projeto da usina incorpore processos que melhorem a qualidade dele, por exemplo pela remoção de parte das impurezas e pela redução da heterogeneidade, e que a usina tenha no seu quadro de funcionários alguém que entenda da técnica de produção e aplicação de agregados reciclados. Observa-se também a necessidade de aumento de apoio por parte do setor público.

Este artigo tem como objetivo apresentar informações relevantes e atualizadas sobre a reciclagem de RCD no Brasil e, a partir daí e da revisão bibliográfica, detectar lacunas tecnológicas, de gestão ou científicas que dificultam o crescimento do setor no país e propor alternativas para sua ampliação nos próximos anos.

METODOLOGIA

Este artigo utilizou dados da Pesquisa Setorial 2014-2015 e 2017-2018 da Abrecon, sendo que alguns autores participaram do desenvolvimento do questionário da Pesquisa Setorial.

Além disso, alguns autores participaram da revisão da norma NBR15116 e do projeto de pesquisa para o desenvolvimento de uma usina móvel inovadora, cujos resultados estão apresentados aqui.

Com esses dados e com a revisão bibliográfica foi possível apresentar propostas para crescimento da reciclagem no país.



Pesquisa eletrônica e população-alvo

Os autores participaram do desenvolvimento de um questionário no SurveyMonkey.com que foi disponibilizado online no site da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon), organização no Brasil criada em 2011 com a ideia de introduzir o tema no debate público e criar uma unidade para as empresas recicladoras do país.

Os dados foram coletados ao longo de um período de mais de 12 meses. Participaram da pesquisa 115 usinas de reciclagem de RCD, o que representa um valor cerca de 10% superior ao analisado na Pesquisa Setorial 2014/2015, com 96 usinas preenchendo o questionário em sua totalidade, para um índice de conclusão de 83%. Estima-se que existam 360 usinas de reciclagem de RCD no país, portanto, este levantamento foi realizado com informações de cerca de 27% do setor no Brasil, um percentual representativo para pesquisa de mercado.

Método de pergunta e tratamento de dados

A pesquisa realizada consistiu em um questionário com 48 questões, entre questões abertas e de múltipla escolha. As perguntas incluíram os seguintes tópicos:

- identificação, contato e endereço do entrevistado, data de fundação da empresa ou tempo de colocação no mercado;
- participação ou não em grupo de usinas, situação atual da usina, existência de Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) na cidade, faturamento médio, número de funcionários, tipo de negócio, modelo de usina (fixa ou móvel), área do terreno / área disponível para a empresa, modalidade de negócio (público, privado ou público-privado);
- maior capacidade de produção, o volume médio produzido e vendido por mês, sistema de controle de qualidade aplicado (processo de triagem RCD, avaliação da qualidade do material recebido, frequência de testes, taxa de teste, política de resíduos sujos), caracterização do material de entrada e material de saída (o tipo de resíduo recebido, produtos desenvolvidos, a quantidade de RCD e resíduos recebidos por mês), o valor da taxa de recebimento do RCD, o valor médio do agregado reciclado produzido;
- maior dificuldade de recebimento de RCD, maior gerador de RCD, maior dificuldade de venda, clientes maiores, intenção de expandir o negócio, participação em



associações e percepção sobre a necessidade de melhoria do processo, produto e comercialização do agregado reciclado.

Para garantir a precisão e confiabilidade das análises, foram excluídas as respostas classificadas como não representativas, oriundas de entradas duplicadas, ambientes organizacionais fora dos padrões objeto da amostra solicitada, erros de digitação, incompreensão comprovada da questão, respostas em branco.

Usina móvel inovadora sobre reciclagem de resíduos Classe A

São apresentadas aqui também informações sobre a usina móvel de reciclagem de resíduos Classe A, brasileira, desenvolvida por alguns autores do artigo e apoiada financeiramente pelo BNDES, que possui inovações tecnológicas capazes de melhorar a qualidade do agregado reciclado produzido, diminuir as paradas de produção, entre outras vantagens, representando assim uma evolução tecnológica resultante do desenvolvimento de um projeto de pesquisa baseado em diversos problemas identificados.

RESULTADOS

Crescimento do número de usinas no Brasil e tipo de instalação

Miranda et al. (2009) afirmam que a atividade de reciclagem de RCD teve início no Brasil na década de 80, com um crescimento insignificante até o final dos anos 90.

A partir de 2002, com a publicação da Resolução Conama nº 307 (BRASIL, 2002), observa-se um aumento no ritmo de crescimento do mercado. A taxa de crescimento passou para 9 usinas por ano.

Considerando os dados dos levantamentos setoriais da Abrecon, observou-se que a taxa de crescimento aumentou para 10,6 usinas / ano entre 2008 e 2013, enquanto que entre 2013 e 2015 houve estabilidade no número de usinas instaladas, provável reflexo da estagnação sofrida na mercado imobiliário no período (ABRECON, 2018).

Embora as primeiras usinas instaladas no Brasil fossem públicas, o que chama a atenção é o crescimento expressivo da instalação de usinas privadas.

Usinas fixas são instalações industriais localizadas em uma determinada área, cuja linha de produção não possui flexibilidade para se movimentar. Usinas



móveis são instalações industriais que apresentam alta capacidade de mobilidade (sobre rodas ou esteira) e são montadas nos pontos de geração de RCD (geralmente canteiros de obras). Usinas híbridas ou semimóveis possuem pelo menos um dispositivo móvel.

Os resultados mostram que a maioria das usinas analisadas são fixas (cerca de 77%). Ainda assim, se forem comparados esses resultados com os das Pesquisas Setoriais anteriores, nota-se uma tendência de crescimento de usinas híbridas no país.

A quantidade de usinas instaladas pode ser considerada pequena se comparado com a quantidade de municípios do país (mais de 5500) e com a quantidade de usinas em funcionamento, por exemplo, em outros países, como a Alemanha.

E o crescimento da quantidade de usinas instaladas poderia ter sido bem maior se tivessem sido adotadas políticas públicas que incentivassem tal atividade, como pacerias, redução de impostos, aumento do consumo de agregados reciclados em obras públicas, etc.

Como afirmado por Meyer (2009), a incorporação de materiais reciclados em produtos de construção é uma das soluções para a redução do volume de resíduos descartados em aterros. E isto pode ser feito através de uma substituição parcial do agregado natural por reciclado, de maneira simples, racional e segura.

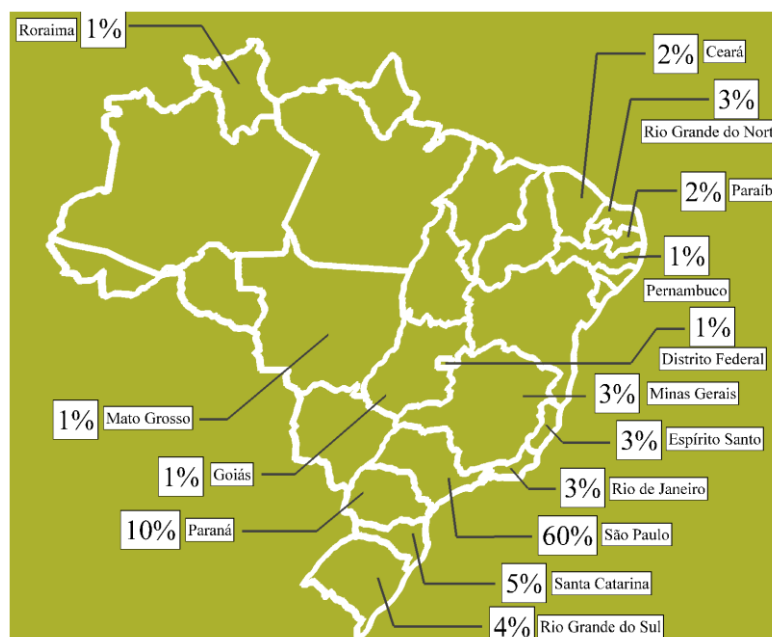
Ainda assim, o dado de crescimento do número de usinas apresentado no relatório da Abrecon é importante, uma vez que comprova que esta é uma atividade que só tende a crescer, assim como tem acontecido em muitos países, por questões sociais, ambientais, econômicas, etc.

Distribuição geográfica das usinas no Brasil

Percebe-se pela Figura 01 que cerca de 60% das usinas estão instaladas no Estado de São Paulo (ABRECON, 2018). Acredita-se que essa situação seja motivada por diversos fatores, como o aumento da atividade no setor de construção civil, os altos preços dos agregados naturais (causados também pela grande distância, por exemplo, dos locais de extração de areia até o centro consumidor), pelo maior mercado consumidor e pela maior fiscalização sobre o destino dos RCD na região (ABRECON, 2018), etc.



Figura 01: Distribuição geográfica das usinas no Brasil por estado. Fonte: Adaptado de Abrecon (2018).



A Pesquisa Setorial 2014/2015 indicou que, em relação aos resultados de 2013, a representatividade do estado de SP caiu de 58% para 54%. Mas, houve um aumento de 3% para 7% no Estado do Rio de Janeiro (ABRECON, 2018).

Pode-se dizer que, em todo o país, inclusive no Estado de São Paulo, ainda é necessário ampliar o número de usinas de reciclagem instaladas, pois a possibilidade de reciclagem ainda é bem menor que o volume de RCD gerado. E o aumento do número de usinas instaladas não exige investimentos do setor público. É possível, por exemplo, incentivar o setor privado a investir na reciclagem de RCD.

A maioria das usinas de RCD está localizada na região Sudeste. No levantamento setorial 2014/2015 realizado, houve um ligeiro aumento no percentual de usinas localizadas nesta região. No Sul, houve tendência de estabilidade entre os anos de 2013 e 2014/2015. Nos anos 2017/2018, houve um aumento insignificante.

Houve queda nos percentuais de usinas nas regiões Nordeste e Centro-Oeste ao comparar os resultados obtidos em 2013 e 2014/2015 com os obtidos em 2017/2018. Por fim, ao contrário do que havia sido registrado em levantamentos anteriores (2013 e 2014/2015), a Região Norte passou a abranger cerca de 1% das usinas instaladas no Brasil.



O RCD é gerado em todo o país, independente do tamanho da cidade. Os dados mostram a importância de mais usinas entrarem em operação, sejam fixas ou móveis, principalmente fora da Região Sudeste. Mas é importante que isto ocorra sem que vire um custo inviável, principalmente para os pequenos municípios, o que é possível, por exemplo, através de incentivos, parcerias, políticas públicas, etc.

Proporção entre usinas públicas e privadas no Brasil

Dados da Pesquisa Setorial Abrecon 2017/2018 (ABRECON, 2018) apontam a continuidade do crescimento das usinas privadas sobre as públicas. Cerca de 91% das usinas analisadas pela pesquisa pertencem ao setor privado, enquanto apenas 4% são públicas e 5% são público-privadas (ABRECON, 2018).

Embora atraiam os municípios pela economia gerada na limpeza urbana e obtenção de agregados de baixo custo, que podem ser problemas amenizados com a instalação de uma usina privada, as usinas públicas ainda apresentam dificuldades para se manter em operação. Isso porque podem existir dificuldades na gestão e relacionadas ao dinheiro público, dificuldade em encontrar pessoal técnico preparado para operar a usina, etc. Dessa forma, pode ocorrer um atraso na manutenção e uma possível perda de interesse da administração pública, principalmente quando ocorre uma mudança de gestão (MIRANDA et al., 2009).

Esse fenômeno da maioria das usinas em operação no país se tornarem usinas privadas deixa clara a importância dos resultados dessa pesquisa, pois indica o interesse da iniciativa privada no setor e, assim, indica o caminho que a gestão dos resíduos de construção deve seguir. Assim, o problema do resíduo de construção pode e deve ser minimizado através da adoção de políticas públicas que incentivem o setor privado a implantar usinas e a consumir agregados reciclados, podendo inclusive resultar em redução de investimentos e de gastos com limpeza urbana e saúde pelo setor público e na geração de empregos e renda pelo setor privado. Como possíveis ações para incentivar a implantação de usinas pelo setor privado, assim como aconteceu quando foi lançada a Resolução 307 do Conama, podem ser citadas: apoio no consumo de agregado reciclado vendido por um preço inferior ao vendido para o setor privado, cessão de uso de área pública com isenção de IPTU, formação de consórcio intermunicipal, aluguel de uma usina móvel, etc.



Previsão de geração de RCD no país e estimativa de produção de agregados reciclados

29% das usinas brasileiras têm capacidade produtiva entre 4.000 e 10.000 m³ / mês. Destaque para a instalação de britadores com capacidade nominal de produção entre 25 e 50 m³ / h (ABRECON, 2018).

A maioria das usinas (cerca de 64%) produz volumes abaixo de 3.000 m³ / mês. Em outras palavras, muitas usinas produzem agregados reciclados abaixo de sua capacidade nominal. Enquanto 21% das usinas declararam ter capacidade nominal de produção superior a 10.000 m³ / mês, apenas 10% indicaram que estavam produzindo esse valor (ABRECON, 2018).

Esses mesmos dados obtidos na Pesquisa Setorial 2014/2015 mostram uma situação melhor do que a Pesquisa Setorial 2017/2018. Isso porque nesse levantamento apenas 52% das usinas produziram volumes abaixo de 3.000 m³ / mês. Vale ressaltar que, na época, enquanto 30% das usinas declararam ter capacidade nominal de produção superior a 10.000 m³ / mês, apenas 11% indicaram que estavam produzindo esse valor (ABRECON 2018).

A partir dos dados de 2014/2015, Miranda (2017) explica que as usinas operavam em apenas 45% de sua capacidade nominal. Isso ocorria devido à fatores como paradas de produção (chuva, quebra de máquina, pneu furado etc.) ou baixa venda de agregado reciclado. Por outro lado, a situação observada pelos dados 2017/2018 indica uma piora desse comportamento, uma vez que os dados mostram que as usinas respondentes ao Levantamento Setorial 2017/2018 operam em média, com apenas 35% de sua capacidade nominal (ABRECON, 2018).

A experiência mostra que a menor demanda por agregado reciclado devido à crise no setor da construção civil não pode ser motivo para uma usina produzir menos do que sua capacidade nominal. Isso porque produzir menos significa receber menos RCD e não conseguir atender às possíveis solicitações dos clientes de fornecimento de grandes volumes de agregado reciclado por falta de estoque. Tempo de inatividade, sem produção, significa perda financeira. Estoque de agregado reciclado não.

Vale lembrar que, por exemplo, uma usina de reciclagem de RCD com capacidade de produção de 5.000 m³ / mês pode produzir mais de 1.000 m³ / mês de areia e, dependendo da obra, pode-se solicitar a entrega desse volume em uma semana. Se a usina não tiver estoque de material, perderá a venda.



Os resultados de produção da usina abaixo de sua capacidade nominal mostram a importância da usina estar bem projetada e equipada para reciclar o RCD. Por exemplo, quanto menor o britador, mais limitado é o tamanho do RCD que pode ser triturado. Assim, dependendo do caso, será necessário um rompedor hidráulico acoplado à retroescavadeira ou um rompedor elétrico no alimentador. E o aluguel diário de uma retroescavadeira equipada com um rompedor hidráulico é mais caro do que o volume que ela é capaz de produzir de RCD reciclável.

Ter uma alternativa eficiente para trocar o pneu furado de uma carregadeira também é importante. Deve-se evitar furá-lo, mantendo pedaços de metal fora do caminho da máquina, ou, por exemplo, usando corrente ou pneu maciço. O uso de máquinas em esteiras também pode ser uma opção, apesar de normalmente serem mais lentas quanto ao deslocamento.

Poder reciclar o RCD em dias de chuva e ter um bom plano de manutenção das máquinas também são pontos importantes para evitar paradas desnecessárias na produção.

Normalmente o problema não é captar um volume de RCD suficiente para tornar o negócio rentável. As maiores dificuldades estão relacionadas à venda de agregados reciclados, paradas não planejadas do processo produtivo e à qualidade do RCD (presença de impurezas / contaminantes, como gesso, terra, papel, madeira, plásticos, entre outros).

Paradas não planejadas no processo de produção podem ser evitadas preparando ou planejando a usina. Isso inclui o uso de um rompedor para evitar o entupimento do britador, mantendo o trajeto das máquinas pneumáticas livre de metais, evitando umedecimento excessivo de pequenos resíduos para evitar atolamento e o desgaste prematuro do britador, utilizando uma peneira com um sistema mecânico para desobstruir a tela, entre outros.

No Brasil, há maior facilidade na comercialização de agregados reciclados de resíduos de concreto quando comparada à comercialização de agregados reciclados oriundos da mistura de RCD com cerâmica, embora sejam um pouco mais caros. Daí a recomendação de instalação de usina fixa em local que facilite a captação de resíduo de concreto (MIRANDA, 2020).

A presença de impurezas / contaminantes deve ser evitada desde o local de geração. Para isso, um sistema eficaz de gestão de RCD deve ser implantado nas obras visando a reciclagem.



A Tabela 01 apresenta uma estimativa da capacidade de reciclagem de RCD no Brasil. Os dados consideram os resultados válidos de produção real e capacidade nominal de reciclagem das usinas brasileiras que participaram das Pesquisas Setoriais da Abrecon de 2013, 2014/2015 e 2017/2018.

Tabela 01: Estimativa do percentual de RCD reciclado no Brasil (dados da Pesquisa Setorial Abrecon desde 2013)

Ano da pesquisa	Valor de referência	Porcentagem de RCD reciclado em relação ao RCD total gerado (estimado)	
		Total de usinas pesquisadas	Extrapolção para a estimativa total de usinas existentes
2013	Produção real (%)	6	16
	Capacidade nominal (%)	13	42
2014/2015	Produção real (%)	6	21
	Capacidade nominal (%)	14	46
2017/2018	Produção real (%)	4	15
	Capacidade nominal (%)	11	43

Fonte: adaptado de Miranda (2017) e Abrecon (2018).

A estimativa (Tabela 01) levou em consideração as seguintes informações:

- os resultados válidos de produção real e capacidade nominal de reciclagem, considerando um universo de 93 usinas (ABRECON, 2013; ABRECON, 2015). A produção média em 2014/2015 foi de 431,5 mil m³ / mês de agregados reciclados. Enquanto a capacidade nominal instalada identificada foi de 958.000 m³ / mês (MIRANDA, 2017);
- a extrapolção dos valores considerando um universo total de 310 usinas existentes / identificadas no Brasil à época (ABRECON, 2013; ABRECON, 2015) a partir do levantamento realizado pelo mapa Abrecon (ABRECON, 2018);
- os resultados válidos de produção real e capacidade nominal de reciclagem consideram um universo de 96 usinas (ABRECON, 2018). A produção média identificada foi de 290.370 m³ / mês de agregados reciclados. Enquanto a capacidade nominal instalada foi de 827.720 m³ / mês (ABRECON, 2018);
- a extrapolção dos valores considerou um universo total de 360 usinas existentes no Brasil, valor atualmente estimado pela Abrecon a partir do levantamento realizado pelo Mapa Abrecon (ABRECON, 2018);
- o cálculo da geração anual do RCD considerou indicadores de geração do RCD de 500 kg / hab/ano, conforme proposto (PINTO, 1999), valor do peso unitário do RCD classe A de 1.200 kg / m³ e total anual de habitantes do país segundo o IBGE.



Pode-se dizer que existe um grande potencial de crescimento para o setor de reciclagem no país, considerando o volume de RCD existente. Mas é preciso aumentar o mercado consumidor de agregados reciclados, tanto público quanto privado, para que o setor seja mais atraente para novos investimentos.

Também é importante que o tempo de inatividade das usinas seja reduzido e que a qualidade do agregado reciclado melhore. Para que essas coisas aconteçam, é necessário que a triagem do RCD seja aprimorada nos canteiros de obras e que as usinas sejam dotadas de processos que promovam a redução do tempo improdutivo e do teor de impurezas leves, por exemplo com o uso de grandes ventiladores.

Em comparação com os resultados da Pesquisa Setorial Abrecon 2013, pode-se verificar que os resultados do percentual reciclado não sofreram alterações significativas.

Com relação à capacidade produtiva da usina e sua área de ocupação, de acordo com os resultados da Pesquisa Setorial 2017/2018, os dados indicam uma tendência natural de maior produção entre as usinas com maior área. Por se tratarem de locais que costumam ter maior capacidade de estoque e a capacidade nominal das máquinas e o tamanho do terreno costumam ser definidos de acordo com a previsão do volume de RCD a ser recebido. Portanto, não houve evidências de uma relação linear entre os resultados. Isso porque, algumas usinas, mesmo localizadas em grandes áreas, relataram baixa capacidade de produção.

Esse resultado destaca o fato de que a escolha do terreno de uma usina depende de vários fatores além da área necessária para a reciclagem, como a lei de uso do solo, a localização, o preço, a disponibilidade. Além da facilidade de acesso, a vizinhança, a presença de infraestrutura já disponível, a previsão de expansão para atividade industrial com agregado reciclado ou aterro inerte, entre outros.

É possível que algumas usinas tenham reduzido a produção de agregados reciclados devido à recessão econômica do setor de construção civil no país. Além disso, alguns respondentes podem ter indicado a área total do terreno e não a área de ocupação da usina influenciando os resultados (ABRECON, 2018).

Na prática, é comum que especialistas no assunto recomendem aos empresários que uma usina desenvolva apenas a atividade de reciclagem de RCD classe A. Geralmente, uma capacidade nominal de reciclagem em torno de 50 m³ / h e que tenha pelo menos 10.000 m² de área também é indicada de terreno.



Para o modelo de usina fixa instalado no país, privadas e com capacidade nominal de produção em torno de 50 m³/h, os estudos de viabilidade econômica apontam que o *breakeven* (quando as receitas se igualam às despesas) varia normalmente entre 1.800 e 2.200 m³. Outros modelos de usinas estacionárias podem ter um ponto de equilíbrio inferior - o que é bom - ou superior, dependendo de vários fatores como valor cobrado pelo recebimento do RCD, o preço dos agregados (naturais ou reciclados) na região, a taxa de juros do financiamento, a verticalização das atividades, etc.

Isso significa que a capacidade de produção da maioria das usinas é suficiente para ter viabilidade econômica. E, se isso não estiver acontecendo, é necessário analisar fatores como o preço cobrado pelo recebimento do RCD e pela venda do agregado reciclado. Também avaliar a qualidade do produto, o mercado consumidor (público e privado), estratégias de marketing e vendas, etc.

Observa-se que atingir um percentual de 50% de reuso ou reciclagem de RCD não é tão difícil, até mesmo no Brasil. Reduzir as paradas de produção de maneira que as usinas tenham uma produção pelo menos próxima de sua capacidade nominal é importante. Considerando ainda que o resíduo Classe A pode corresponder a um pouco mais de 50% do RCD gerado e que hajam políticas públicas, assim como em outros países, como descrito no capítulo introdutório deste artigo, que incentivem o consumo de agregado reciclado, desta maneira fica fácil passar o índice de 50% de reciclagem do RCD.

Uma estratégia de vendas do agregado reciclado que pode influenciar é a doação de uma amostra a um potencial consumidor juntamente com a presença de um responsável pela venda técnico-comercial do produto. Este profissional deve ter experiência em construção civil e agregados reciclados, podendo esclarecer todas as dúvidas técnicas da equipe de engenharia do consumidor. Isso é importante porque torna o agregado reciclado mais confiável por ser um produto novo no mercado e muitas pessoas ainda desconhecem seu desempenho.

Também o apoio público no consumo de agregados reciclados e redução dos impostos do mesmo, aumento da taxa de despejo de RCD em aterros, exigência do uso de um percentual de agregado reciclado nas obras, são exemplos de providências que podem ser tomadas pelo setor público para aumentar o consumo de agregados reciclados.



Os resultados apresentados de percentual de resíduos reciclados e de produção real das usinas são importantes em termos científicos e práticos, pois comprovam a necessidade de serem criadas políticas que incentivem a instalação de novas usinas e, também, o desenvolvimento de pesquisas que melhorem a produtividade das usinas, como apresentado neste artigo.

Situação das usinas no Brasil, número de funcionários envolvidos na reciclagem (e em outras atividades) e número de habitantes no município

Identificou-se que apenas 78% das usinas que participaram da Pesquisa Setorial 2017/2018 estão em operação. Cerca de 9% estão operando em escala de teste. Enquanto 10% das usinas estão paralisadas por questões operacionais (ABRECON, 2018).

Comparando a situação das usinas da Pesquisa Setorial 2017/2018 com as pesquisas setoriais anteriores, observa-se que o percentual de usinas em operação e em escala teste tem crescido. Porém, há um aumento no número de usinas paralisadas (ABRECON, 2018).

Quanto ao número de funcionários, são apresentados apenas os envolvidos na reciclagem do RCD. Os resultados (ABRECON, 2018) afirmam que:

- a maioria das usinas pode ser considerada uma pequena empresa. Isso porque possui um número reduzido de funcionários. 64% têm entre 5 e 10 funcionários e 28% entre 11 e 20;
- a maioria das usinas (78%) de pequeno porte (menos de 20 funcionários) se dedica à reciclagem de RCD ou à manutenção da área de transbordo e triagem. Já as usinas com mais de 21 funcionários realizam outras atividades, demonstrando que o funcionamento do empreendimento não necessita de um grande número de funcionários.

De fato, as análises de viabilidade econômica mostraram que o número total de pessoas envolvidas na operação de uma usina com capacidade nominal de produção de 50 m³ / h é em torno de 12. Destas, aproximadamente metade tem a função de triagem de RCD. Essa quantidade pode ser reduzida ao receber RCD mais limpo (geralmente de resíduos de concreto) ou, se a usina, fixa ou móvel, possuir um sistema de remoção de impurezas (aéreo, úmido, espectrômetro de raios-x ou outros tipos).



As usinas também foram classificadas de acordo com o percentual que pertencem a um grupo de empresas.

As usinas que pertencem a um grupo e, portanto, realizam outras atividades econômicas, representam cerca de 26%.

A “verticalização” das atividades pode aumentar a viabilidade econômica do negócio. Ainda assim, a representatividade das usinas pertencentes a um grupo permaneceu a mesma se comparada aos dados obtidos na Pesquisa Setorial 2014/2015 (ABRECON, 2018). A “verticalização” pode estar relacionada com a geração ou destinação de RCD, sejam pedreiras, transportadores de RCD, aterros de inertes, empresas de demolição, empresas de terraplenagem e empresas de construção.

As usinas foram classificadas de acordo com a distribuição nos municípios brasileiros de acordo com o número de habitantes. A Pesquisa Setorial 2017/2018 indica uma maior concentração de usinas em cidades de médio porte. Os dados da pesquisa indicam que cerca de 40% das usinas estão localizadas em cidades entre 100 mil e 400 mil habitantes. A presença de 13% das usinas em municípios com menos de 100 mil habitantes, por sua vez, demonstra a viabilidade do negócio em pequenos municípios (ABRECON, 2018). Municípios bem menores e próximos têm a opção de formarem consórcios intermunicipais ou de estimularem o setor privado, por exemplo, para minimizar o problema da geração do RCD, com baixo investimento.

A área da usina, se esta não fizer parte de um grupo, geralmente está relacionada à sua capacidade nominal. Que, por sua vez, está relacionado ao volume de RCD gerado que é estimado, entre outros fatores, pelo número de habitantes do município. Por isso, na maioria dos casos, as usinas com maior capacidade nominal são instaladas em municípios com maior número de habitantes.

A Pesquisa Setorial Abrecon 2017/2018 também buscou identificar o número de usinas localizadas em municípios que possuem Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC).

A partir dos resultados obtidos, observa-se que a maioria das usinas (cerca de 52%) está localizada em municípios que possuem o PGRCC implantado, o que sugere que a existência desse documento não contribui necessariamente para a existência de um mercado de reciclagem no local. Valor considerado baixo, visto que a obrigatoriedade de implantação do PGRCC existe desde 2002, com a Resolução Conama nº 307, (ABRECON, 2018). Cerca de 7% das usinas relataram não saber da



existência do PGRCC no município, indicando a necessidade de maior conhecimento por parte do setor sobre as políticas públicas existentes (ABRECON, 2018).

Pelos resultados da Pesquisa Setorial, pode-se afirmar que as usinas de reciclagem de RCD brasileiras precisam de apoio público, principalmente no consumo de agregado reciclado. O estudo de viabilidade econômica comprova que o negócio é bom. Mas para isto é preciso vender o produto. E como o consumo de agregados para pavimentação pode ser muito influenciado pelo setor público e esta é uma aplicação muito importante para o agregado reciclado, é preciso sim este apoio.

Como demonstrado na pesquisa, o número de funcionários envolvidos na triagem é expressivo, devendo ser reduzido para baratear o produto reciclado. Assim, é importante a aplicação e o desenvolvimento de técnicas que reduzam essa necessidade, seja pela triagem em canteiro, que deve ser exigida e com fiscalização facilitada, uma vez que muitas obras apenas desenvolvem o PGRCC para cumprir a legislação, mas não o implantam, ou pelo desenvolvimento científico de equipamentos ou de sistemas de produção que façam a remoção de contaminantes, com alta eficiência, de maneira sustentável, com baixa necessidade de funcionários e com custoável.

O número de habitantes no município pode ser um fator que influencie na viabilidade econômica da implantação de usinas. No caso de usinas públicas (onde talvez o fator limitante seja ter o recurso financeiro e não a aplicação do agregado reciclado), possíveis alternativas seriam: formação de consórcios com municípios próximos, incentive ao setor privado para a instalação de usinas de reciclagem. No caso de usinas privadas (onde talvez o fator limitante seja a venda do agregado reciclado):

Resultados complementares da Pesquisa Setorial 2015

Na Pesquisa Setorial 2015 realizada pela Abrecon (ABRECON, 2015) existiram algumas questões que, por serem consideradas importantes, são apresentadas neste item:

- ainda não faz parte do cotidiano da maior parte das usinas a realização de ensaios de controle tecnológico nos materiais produzidos (ABRECON, 2018). Entre os motivos que levaram algumas usinas a realizarem os ensaios tecnológicos, os principais são a preocupação com a qualidade e a exigência do consumidor, seguido do interesse de divulgar as propriedades dos agregados.



Pode-se afirmar que o custo de instalação de um minilaboratório não chega perto do valor investido para a instalação da usina e permite a caracterização de quase todos os ensaios definidos em norma;

- as construtoras e os órgãos públicos são os principais clientes de agregados reciclados. O setor público está apoiando o consumo de materiais reciclados, principalmente para uso em pavimentação. Mas é preciso ajudar mais, tanto em termos de volume mensal quanto em termos de número de municípios, uma vez que o consumo de agregado reciclado traz diversos benefícios ambientais, sociais e econômicos à população. Mais que isso, é necessário estabelecer políticas públicas que incentivem a reciclagem do resíduo de construção;
- as empresas de pavimentação representam um percentual baixo dos clientes principais, principalmente considerando que a pavimentação é a principal aplicação de agregados reciclados no mundo, pelo volume de material necessário, pelo menor preço e por normalmente atender aos requisitos técnicos. E isto não faz sentido, uma vez que no Brasil existem vários exemplos de obras, públicas e privadas, que usaram agregados reciclados mistos ou de origem em resíduo de concreto, na construção de pavimentos de baixo volume de tráfego, que atenderam às especificações técnicas com economia de recursos financeiros, como o campus zona leste da Universidade de São Paulo, vários municípios e a Vila dos Atletas (sede dos atletas na Olimpíadas de 2016, no RJ).;
- preço médio cobrado para recebimento de RCD: pode-se afirmar que, em geral, o valor ainda é muito baixo, principalmente se comparado aos valores cobrados em usinas europeias. Mesmo sendo baixo este valor é importante para a saúde financeira da usina. Isto porque esta costuma ser a principal fonte de renda no início da operação. Receber RCD normalmente é mais fácil que vender agregados reciclados. Por isso que alguns empresários procuram um terreno grande e abrem um aterro de inertes com reciclagem. Mas é importante que a viabilidade econômica da abertura de um aterro de inertes com uma usina de reciclagem de RCD seja avaliada caso a caso;
- as causas mais citadas para a dificuldade de venda do agregado reciclado são a inexistência de legislação que incentive o consumo (31%), a elevada carga tributária (26%) e a falta de conhecimento do mercado (26%) (ABRECON, 2015). É possível melhorar estes aspectos através, por exemplo, de uma maior aquisição de agregados reciclados pela iniciativa pública, exigindo o uso prioritário deste no edital de licitação, incentivo ao uso de agregados reciclados em pequenas e grandes obras, redução de



ICMS para agregados reciclados e isenção de IPTU para usinas, além de outras alternativas apresentadas na revisão bibliográfica e com eficiência já comprovada em países europeus. Existem decretos em alguns municípios do país que especificam o uso prioritário de agregados reciclados. Porém, nem sempre tal decreto tem sido respeitado.

Evolução tecnológica das usinas no Brasil

Em 2014, iniciou-se um projeto de pesquisa em parceria com o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento), UFPR (Universidade Federal do Paraná), FUNPAR (Fundação da UFPR) e a empresa Soliforte Reciclagem (localizada em Campo Largo). Por meio da linha do FUNTEC (Fundo Tecnológico) do BNDES, que forneceu apoio financeiro, foi desenvolvida uma usina móvel de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) com diferentes inovações. A usina móvel, produzida pela empresa Mercantil Catarinense (localizada em Indaial / SC e vencedora da licitação), foi resultado do projeto desenvolvido (MIRANDA, 2020).

A Figura 2 mostra os diferentes módulos que compõem a usina móvel.

Figura 2: Usinas móveis desenvolvidas no projeto BNDES





Legenda: a. Módulo de britagem; b. Módulo de qualidade e c. Módulo de moagem

Fonte: Miranda (2020).

O primeiro reboque da linha de produção consiste no módulo de britagem (Figura 2a) que possui cerca de 12 m de comprimento. Consiste em um gerador, duas esteiras transportadoras usadas para escalpelamento, um alimentador vibratório, um britador de mandíbulas modelo 8050 e um separador magnético. Possui ainda um rompedor para diminuir a ocorrência de entupimento do britador com a presença de RCD de dimensões excessivas, diminuindo assim o tempo improdutivo. Além disso, a fração miúda do RCD que cai no alimentador não passa pelo britador, aumentando a produção, evitando atolamentos e o desgaste desnecessário das mandíbulas. Além de alguns transportadores de correia, sendo que um deles é móvel e usado para homogeneizar a brita corrida produzida ou para lançar esse material na peneira vibratória (MIRANDA, 2020).

O segundo trailer da linha de produção consiste no módulo de qualidade (Figura 2b), com cerca de 14 m de comprimento. Consiste em um gerador e seis transportadores de correia (alguns com movimento de vai-e-vém para homogeneizar o agregado reciclado). Possui ainda uma peneira vibratória com sistema mecânico para desobstruir a tela que separa o pedrisco da areia, um silo para controle granulométrico do cascalho triturado e um poderoso ventilador para retirar a maior parte das partículas leves presentes nos agregados graúdos.

A terceira e última unidade consiste no módulo de moagem (Figura 2c). É menor em tamanho e pode ser acoplado ao reboque traseiro de um carro. É composto por uma rampa de acesso, duas esteiras transportadoras, um moinho de martelo e uma bomba que produz uma névoa de umidade para ajudar a reduzir a poeira produzida pelo moinho de martelo. Este módulo pode ser utilizado de duas formas:



reciclando o resíduo dentro de um canteiro de obras (proporcionando economia com a produção de areia reciclada); ou transformando os agregados graúdos (rachão, brita ou pedrisco) do módulo da qualidade em um agregado fino (MIRANDA, 2020).

Uma das novidades é a presença de diversos transportadores de correia que homogeneizam o agregado reciclado por meio do movimento radial. Desta forma, é possível formar pilhas homogeneizadas de pedrisco e brita reciclados. Esse procedimento também pode ser adotado para a produção de rachão. Isso é importante porque, quando se trata de material reciclado, a variabilidade dentro do mesmo lote geralmente é grande. Esse sistema, além de simples e automático, melhora a qualidade do produto e facilita a formação de amostras para controle tecnológico (MIRANDA, 2020).

Para a produção de agregados para pavimentação, é possível produzir o material com controle granulométrico. A usina contém silos para a dosagem desejada de conteúdo de areia, pedrisco e brita. Este controle granulométrico é importante para que os agregados reciclados destinados à base e sub-base dos pavimentos atendam aos requisitos técnicos exigidos pelas normas correspondentes. Dessa forma, os materiais produzidos podem atender às normas nacionais ou internacionais, alcançando resultados superiores, por exemplo, de CBR. Além disso, é possível contribuir para a redução do custo da obra, uma vez que o preço do agregado reciclado costuma ser muito inferior ao custo de destinação dos resíduos a aterros legalizados acrescido do custo do agregado natural (MIRANDA, 2020).

Outra novidade é que a peneira vibratória possui um sistema mecânico capaz de desentupir a peneira que separa o pedrisco da areia. Assim, a separação mais eficiente desses materiais ocorre mesmo quando eles apresentam umidade. A produção desses materiais mistos pode impedir seu uso como camada de drenagem, por exemplo.

A usina móvel também contém um ventilador de alta potência. Esse equipamento é capaz de remover grande parte das impurezas leves presentes no pedrisco reciclado, brita triturada e rachão. Outra vantagem é a presença de um rompedor elétrico. Desta forma, antes que o grande RCD caia no britador, ele é reduzido a dimensões menores. Isso reduz a possibilidade de entupimento do britador e paradas desnecessárias durante a produção (MIRANDA, 2020).

Essas inovações contribuem para uma melhoria significativa na qualidade do material reciclado, o que facilita a comercialização.



Como benefício, com uma usina móvel, é possível reduzir o investimento em instalações e fundações de energia, além de ter seu mercado ampliado e facilitado em comparação com usinas fixas. Isso porque, ela pode prestar serviços de reciclagem mensal em diferentes partes do país ao invés de receber o entulho, reciclar e vender o agregado reciclado. Também pode ser útil na formação de consórcios entre municípios. A usina desenvolvida, por ser um equipamento nacional, facilita a manutenção e compra, pois é possível visitar uma usina em operação, permitindo a experiência de uma empresa com a máquina. O proprietário da usina não depende de peças importadas, o que costuma encarecer o processo e aumentar o tempo improdutivo da usina (MIRANDA, 2020).

Observa-se que o país tem apresentado evolução no que diz respeito à reciclagem de resíduos Classe A em vários pontos, na quantidade de usinas instaladas, na qualidade dos equipamentos, na porcentagem de RCD reciclado, etc.

Porém, esta evolução poderia ter sido muito maior, inclusive com redução de custos para o setor público e geração de empregos para a população, se políticas públicas bem estruturadas tivessem sido implantadas.

CONCLUSÕES

Pelos resultados da pesquisa Setorial 2017-2018 pode-se destacar que:

- a maioria das usinas brasileiras é privada, usa britador de mandíbulas e está localizada nos Estados de São Paulo e Paraná;
- existem mais de 300 usinas instaladas no país, a maioria com britadores de capacidade nominal de produção entre 25 e 50 m³/h. Se as usinas estivessem produzindo agregados reciclados em sua capacidade nominal, o percentual estimado de reciclagem seria de 43%. É importante diminuir o tempo improdutivo das usinas e aumentar o consumo de agregados reciclados, em obras pública e privadas;
- normalmente as usinas tem de 5 a 10 funcionários envolvidos na reciclagem e estão localizadas em municípios com 100.000 a 1.000.000 de habitantes;
- apesar da maioria das usinas ser fixa, o percentual de usina móveis aumentou, mas a porcentagem de usinas que fazem controle tecnológico rotineiro continua muito baixa;
- o preço de venda dos agregados reciclados são fixados, normalmente, entre 50% e 75% do preço do agregado natural. O valor cobrado pelas usinas para recebimento de RCD varia, na maioria dos casos, entre R\$10,00 e R\$20,00/m³;



- entre as principais causas para a dificuldade de venda do agregado reciclado, de acordo com a pesquisa, estão a inexistência de legislação que incentive o consumo (31%), a elevada carga tributária (26%) e a falta de conhecimento do mercado (26%). Assim, é muito importante que sejam implantadas políticas públicas que incentivem o uso de agregados reciclados;
- a reciclagem de RCD no Brasil apresentou uma grande evolução desde 2002 mas ainda tem muito a crescer.

Foi desenvolvida no Brasil uma usina móvel com diversas inovações com o objetivo de melhorar a qualidade do agregado reciclado e aumentar a produtividade.

Alternativas para auxiliar o crescimento da reciclagem e reuso do RCD no Brasil:

- aumento do imposto sobre o agregado natural e sobre a taxa de deposição do RCD em aterro;
- redução do imposto sobre o agregado reciclado, por exemplo, do ICMS e do IR;
- melhoria da qualidade do agregado reciclado, principalmente quanto à presença de contaminantes. Isto pode ser conseguido melhorando a triagem no canteiro e com a instalação de dispositivos mecânicos para a triagem nas usinas;
- orientação ao consumidor quanto ao uso correto de agregados reciclados;
- consumo de agregados reciclado pelo setor público;
- incentivo à instalação de novas usinas, fixas ou móveis, públicas ou privadas, seja pela formação de consórcios, pela criação de linhas de financiamento com baixa taxa de juros, pela cessão de uso de terrenos públicos para a instalação de usinas, etc.;
- exigência do uso de agregados reciclados em obras novas ou de reformas, de qualquer porte, em um percentual mínimo em relação ao consumo total de agregado previsto;
- elaboração do projeto da usina com o objetivo de reduzir o tempo improdutivo causado, por exemplo, por pneu furado, entupimento do britador, quebra de máquinas, chuva, etc.
- aumento da quantidade de leis e colocar em prática as leis que apoiam, de alguma maneira, a reciclagem do RCD, como por exemplo, a triagem em canteiro e destinação correta dos resíduos, o uso prioritário de agregados reciclados, etc.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos Srs. Adriano Carnaúba (BNDES) e Carlos Eduardo (Funpar), pela competência no gerenciamento do projeto de pesquisa;



ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Universitário (Capes).

REFERÊNCIAS

- ABRECON. **Pesquisa Setorial 2013**. São Paulo. 2013.
- ABRECON. **Pesquisa Setorial 2014/2015**. São Paulo. 2015.
- ABRECON. **Pesquisa Setorial 2017/2018**. São Paulo. 2018.
- ALLWOOD, J.M. **Squaring the circular economy: the role of recycling within a hierarchy of material management strategies**. Elsevier, Boston, p. 445–477. 2014.
- BANIHASHEMI, S.; TABADKANI, A.; HOSSEINI, M. R. Integration of parametric design into modular coordination: a construction waste reduction workflow. **Automation in Construction**, v. 88, p. 1-12, 2018.
- BIOINTELLIGENCESERVICE. **Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste**. Paris. 2011.
- BORGHI, G.; PANTINI, S.; RIGAMONTI, L. Life cycle assessment of non-hazardous construction and demolition waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 815-825, 2018.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 307. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. 2002.
- CBIC. **PIB Brasil e Construção Civil. PIB e Investimento**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acessado em agosto de 2018.
- CEWEP. **Landfill Taxes and Bans Overview**. Confederation of European Waste-to-Energy Plants, Düsseldorf, Germany. 2017.
- DE MELO et al. Construction and demolition waste generation and management in Lisbon (Portugal). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 1252-1264, 2011.
- DI MARIA, A.; EYCKMANS, J.; VAN ACKER, K. Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: combining LCA and LCC to support sustainable policy making. **Waste Management**, 75, 3–21.
- DOBROVOLSKIENE, N et al. Developing a composite sustainability index for real estate projects using multiple criteria decision making. **Operational Research - An International Journal**, v. 1, p. 1-19. 2017.
- EEA. **Diverting waste from landfill: effectiveness of waste-management policies in the European Union Copenhagen**. Denmark. 68 p. 2009.
- EUROPEAN COMMISSION. **Resource efficient use of mixed wastes improving management of construction and demolition waste - Final report**. Brussels. 2017.
- G_ALVEZ-MARTOS; STYLES, J.L.; SCHOENBERGER, D.; H. ZESCHMAR-LAHL, B. Construction and demolition waste best management practice in Europe. **Resources, Conservation and Recycling**. 136, 166. 2018.
- HU, M., KLEIJN, R., BOZHILOVA-KISHEVA, K., DI MAIO, F. An approach to LCSA: the case of concrete recycling. **International journal of life cycle assessment**. 18, 1793–1803. 2013.
- HURLEY, J. W.; MCGRATH C, F. S. L.; BOWES, H. M. **Deconstruction and Reuse of Construction Materials**. BRE Report 418, London, 33 p. 2001.
- KARPINSK, L. A. et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.



- LNE. **Monitoringsysteem Duurzaam Oppervlakedelfstoffenbeleid**. Brussels (in Dutch). 2012.
- MEYER, C. The greening of the concrete industry. **Cement & Concrete Composites**, v. 31, p. 601-605, 2009.
- MIRANDA, L.F.R. et al. A Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil: 1986 – 2008. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre. v.9, n.1, p.57–71. jan/mar. 2009.
- MIRANDA, L.F.R.; MILARCK, L. G.; GARCIA, I. H.; PESCAROLO, A.; VOGT, V. Avaliação de procedimento para execução de contrapiso com areias recicladas produzidas em canteiro de obras. In: V Encontro nacional sobre aproveitamento de resíduos na construção, 2017, Fortaleza. **ANAIS...ENARC 2017**.
- MIRANDA, L.F.R. **Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição: teoria e prática**. Edit. Appris, Curitiba, 203 p. 2020.
- Pacheco-Torgal, F., Tam, V.W.Y., Labrincha, J.A., Ding, Y., De Brito, J. **Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste**. 2013.
- PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1999.
- SÖDERHOLM. Taxing virgin natural resources: lessons from aggregates taxation in Europe. **Resources, Conservation and Recycling** 55 (11), 911–922. 2011.
- THOMAS, B. S. Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material – A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 3, p. 3913-3923, 2018.
- ZHAO, W.; LEEFTINK, R. B.; ROTTER, V. S. Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China-The case of Chongqing. **Resources, Conservation and Recycling**. 54, 6, 377–389. 2010.

Biografias
CURRÍCULOS DOS AUTORES





Anna Camila Vieira Ribeiro

Bacharel em Ciência e Tecnologia, e graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM.

Antônio Acácio de Melo Neto

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (2000), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (2002), doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (2007) e pós-doutorado da Universidade de São Paulo (2008). Atualmente é Professor Associado com dedicação exclusiva na Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Materiais e Componentes de Construção, atuando principalmente nos seguintes temas: aproveitamento de resíduos na construção civil, ativação da escória de alto forno, retração autógena e por secagem em argamassas e concretos, cimento de escória, desenvolvimento de novos materiais e microestrutura de aglomerantes.

Daniel Moraes Santos

Graduado em Engenharia Elétrica pela PUC-MG, especialista em Docência do ensino Superior pela PUC-MG, mestrado e doutorado pela Universidade Federal de Uberlândia, e Docente Adjunto da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM.

Hewerton Bartoli

MBA em gestão integrada de resíduos sólidos, presidente da Abrecon e CEO da empresa R3Ciclo gestão de resíduos.



Leonardo Fagundes Rosemback Miranda

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora (1997), mestrado (2000) e doutorado (2005) em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Materiais e Componentes de Construção, atuando principalmente nos seguintes temas: reciclagem de resíduos de construção em usinas e canteiros, argamassas, concretos, pavimentos. Entre set/2006 e fev/2010 foi professor da Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Paraná.

Lorena Durau Carloto dos Santos

Atualmente é acadêmica de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná - UFPR.

Marcos Augusto Mendes Marques

Professor do Departamento de Engenharia de Produção - UFPR, Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia – UFPR.

Maria Eliza Casagrande Lazzaretti

Estudante de graduação em Engenharia de Produção – UFPR.

Maylane Gonçalves Rodrigues

Bacharel em Ciência e Tecnologia, e graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM.

Michael Dowglas de Gois Silva

Professor Adjunto na UniRV lotado no curso de Engenharia Civil, Engenheiro Civil (UEG), Mestre em Mecânica dos Sólidos (UFG), Doutorando em Engenharia Mecânica com ênfase em Dinâmica das Estruturas (Universidade Estadual Paulista (Unesp) – Ilha Solteira).



Milton Batista Ferreira Junior

Professor Adjunto na UniRV lotado no curso de Engenharia Civil, Licenciado em Física (IFG), Mestre em Ensino de Ciências e Matemática (IFG), Doutorando em Ciências dos Materiais com ênfase na fabricação de fibras Supercondutoras pela técnica de fiação por sopro de solução (Universidade Estadual Paulista (Unesp) – Ilha Solteira).

Nathália Cunha Rubin

Aluna do Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica (PIVIC-UniRV), Graduanda em Engenharia Civil (UniRV).

Rosane Olivo Menegon

Professora convidada do Programa de Pós Graduação em Projeto, Dimensionamento de Estruturas e Fundações (UniRV), Engenheira Civil, MBA em Projeto e Execução de Estruturas e Fundações, Mestra em Engenharia de Edificações e Ambiental (UFMT).

Ruth M. Hofmann

Professora do Departamento de Engenharia de Produção - UFPR, Doutorado em Educação – UFPR.

Sandileia Recalcatti

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (2020) e em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci (2014). Desenvolveu Iniciação Científica (2017/2020) sobre o tema resíduos sólidos, no grupo de pesquisa Engenharia e Meio Ambiente. Atualmente é acadêmica de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, integrando o grupo de pesquisa Gestão de Resíduos da Construção Civil.



Thaísa Mariana Santiago Rocha

Engenheira Civil na Secretaria Municipal de Obras Públicas da Prefeitura de Curitiba. Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração Materiais e Estruturas. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná (2017), na área de concentração Materiais e Estruturas. Engenheira Civil graduada pela Universidade Federal do Paraná (2015). Atua na área de materiais de construção civil com ênfase em reciclagem de resíduos e materiais compósitos.

Vanessa Vogt

Possui graduação em Química Ambiental Aplicada à Indústria pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2005), graduação em Tecnologia da Construção Civil modalidade Concreto pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2009) e mestrado em Engenharia da Construção Civil pela Universidade Federal do Paraná, área de estudo Geotecnia (2012). Atualmente é professora nível 401 do curso técnico em Edificações do Instituto Federal do Paraná e aluna do Curso de Tecnologia em Gestão Pública pela Universidade Federal do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, atuando principalmente nos seguintes temas: geofísica de eletrorresistividade, ensaios de laboratório, estabilidade de encostas, projetos geotécnicos de barragens de rejeito, sensores ópticos e fundações.

ISBN 978-658997619-6



9 786589 976196



Editora
MultiAtual