

# UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE BLOCOS PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO<sup>1</sup>

Alexsandro Luiz Lima de Oliveira<sup>2</sup>

Pedro Rosso<sup>3</sup>

Cleidson Rosa Alves<sup>4</sup>

## **Resumo**

*O reuso dos resíduos da construção civil (RCC) é uma forma de diminuir os impactos causados por seu descarte irregular. Buscando formas de viabilizar a reutilização desses materiais, o presente estudo teve como objetivo analisar a utilização de diferentes percentuais de agregado obtido a partir da reciclagem de RCC como componente parcial para a produção de blocos cimentícios destinados para pavimentação, considerando critérios técnicos e econômicos. Foram produzidos em escala industrial blocos cimentícios do tipo paver com substituição de diferentes percentuais do pó-de-pedra por agregado reciclado, sendo seu comportamento testado posteriormente em laboratório, comparando-os com blocos da produção padrão da mesma empresa. Os resultados apontam que a resistência à compressão daqueles em que se utilizou agregado reciclado é cerca de 50% menor que a obtida pelos blocos padrão, inviabilizando seu uso para pavimentação de vias, pois não atendem os requisitos NBR/ABNT nº 9781/2013, mas permite sua utilização para pavimentação de calçadas e similares. O aumento de agregado reciclado na mistura, trouxe um aumento na porosidade dos blocos, saindo de 26,18% passando para 31,82%. A análise granulométrica evidenciou que a curva do agregado reciclado é mais semelhante à curva da areia média utilizada pela indústria na produção dos blocos do que a obtida para o pó-de-pedra, material que foi substituído parcialmente por agregado reciclado neste estudo. A partir deste resultado, infere-se que a substituição de percentuais da areia média por agregado reciclado pode resultar num melhor comportamento mecânico, porém mais testes são necessários para avaliar esta possibilidade.*

**Palavras-Chave:** Resíduos da construção civil. Reciclagem. Agregado reciclado. Blocos cimentícios.

## **THE USE OF CIVIL CONSTRUCTION WASTE FOR PRODUCTION OF PAVING BLOCKS FOR ROAD BASES**

### **Abstract:**

*The reuse of construction and demolition waste (CDW) is a way to reduce the impacts caused by its improper disposal. Seeking to facilitate the reuse of these materials, the*

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Criciúma, desenvolvido durante o segundo semestre de 2023.

<sup>2</sup> Acadêmico; Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Criciúma; alexsandro.llo@aluno.ifsc.edu.

<sup>3</sup> Orientador; Docente do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Criciúma; pedro.rosso@ifsc.edu.br.

<sup>4</sup> Coorientador; Docente do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Criciúma; cleidson.alves@ifsc.edu.br.

*present study aimed to analyze the use of different percentages of aggregate obtained from CDW recycling as a partial component for the production of cement blocks intended for pavement, considering technical and economic criteria. Industrial-scale cement blocks of the paver type were produced with the replacement of varying percentages of stone dust by recycled aggregate. Their behavior was subsequently tested in the laboratory, comparing them with blocks from the standard production of the same company. The results indicate that the compressive strength of blocks using recycled aggregate is approximately 50% lower than that obtained by standard blocks, making them unsuitable for road pavement as they do not meet the requirements of NBR/ABNT No. 9781/2013. However, they allow for use in sidewalk and similar pavement applications. The increase in recycled aggregate in the mix resulted in an increase in the porosity of the blocks, rising from 26,18% to 31,82%. Granulometric analysis showed that the curve of the recycled aggregate is more similar to the curve of the medium sand used by the industry in block production than that obtained for the stone dust, which was partially replaced by recycled aggregate in this study. From this result, it is inferred that replacing percentages of medium sand with recycled aggregate may lead to better mechanical behavior. However, further tests are necessary to evaluate this possibility.*

**Keywords:** *Construction Waste; Recycling; Recycled Aggregate; Cement block.*

## 1 INTRODUÇÃO

A melhoria da qualidade de vida é um importante desafio a ser superado na sociedade moderna, o que inclui a pavimentação das vias públicas. No entanto, qualquer intervenção no ambiente precisa ser avaliada para que não se torne um problema ainda maior, por isso a importância de pensar possibilidades de redução dos impactos no ciclo natural das áreas ou regiões trabalhadas. Neste sentido, Mucelin e Bellini (2008), Araújo *et al.* (2011), Rubim e Leitão (2013) e Cunha (2020) corroboram com estudos acerca da necessidade de pensar a melhoria das referidas vias.

O crescimento das cidades, de acordo com John (2000), Dias (2004) e Cardoso (2022), ocasiona o aumento da geração de resíduos na construção civil (RCC), o que tem acarretado uma série de problemas como a formação de áreas de descarte de forma irregular e a poluição de áreas naturais, podendo resultar na geração de odores desagradáveis e proliferação de animais peçonhentos (Santana, 2020), gerando riscos à saúde pública e comprometendo a paisagem. Os resíduos ainda podem obstruir o fluxo hídrico e contribuir para a ocorrência de alagamentos ou formação de lâminas d'água, caso sejam descartados sobre as vias públicas (São Paulo, 2023).

Neste contexto, questiona-se se o uso de agregados obtidos a partir da reciclagem de RCC na execução de blocos cimentícios para pavimentação pode contribuir para diminuir de alguma forma esses problemas. Será que esses materiais podem ser utilizados de forma que os blocos fiquem dentro das normas técnicas? Há viabilidade econômica para esse uso?

Com o intuito de buscar respostas para esses questionamentos foi realizado o presente estudo com o objetivo de analisar a utilização de diferentes percentuais de agregado obtido a partir da reciclagem de RCC como componente parcial para a produção de blocos cimentícios destinados para pavimentação considerando critérios técnicos e econômicos.

### **1.1 Os resíduos da construção civil (RCC)**

A expressão Resíduos da Construção Civil (RCC) refere-se aos resíduos gerados durante atividades de construção, reforma, demolição e escavação de obras e podem incluir diversos materiais, como concreto, tijolos, cerâmicas, madeiras, metais, plásticos, vidros, entre outros (Cardoso, 2022).

No Brasil, o gerenciamento dos RCC é regulamentado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010) e pela Resolução CONAMA nº 307/2002 (CONAMA, 2002). Entre os principais aspectos legais relacionados aos RCC no Brasil, podem ser destacados: a) a responsabilidade compartilhada, que prevê que os geradores de RCC têm a responsabilidade de gerenciá-los adequadamente, desde a geração até a destinação final (Brasil, 2010); b) a necessidade de elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) geradores de RCC em consonância com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil elaborado pelo município, no qual são descritas as ações e procedimentos que serão adotados para a gestão dos resíduos, incluindo a forma de segregação, acondicionamento, transporte e destinação final (CONAMA, 2002); c) a classificação dos RCC de acordo com a sua periculosidade, de forma a determinar o tratamento e destinação adequados, segundo os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº 307/2002 (CONAMA, 2002); e d) a destinação ambientalmente adequada para os RCC em locais adequados e licenciados, como aterros de resíduos da construção civil, áreas de reciclagem, usinas de reciclagem, entre outros (Brasil, 2010). Além dos aspectos legais, ressalta-se que

a gestão dos RCC também deve considerar aspectos ambientais, sociais e econômicos e que a adoção de boas práticas de gestão, como a redução na geração de resíduos, a reutilização de materiais e a reciclagem contribuem para a minimização dos impactos ambientais e para o aproveitamento sustentável dos recursos (Donato; Barbosa; Moreira, 2015).

No Brasil, de acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), são gerados anualmente, em média, 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU). Neste contexto, a preocupação com o gerenciamento dos RCC se deve ao fato de que o setor da construção civil é a atividade econômica que mais faz uso de recursos naturais, equivalente a cerca de 50% de tudo que é extraído mundialmente, e que, por conta disso, é a responsável por gerar cerca de 40% de todo resíduo produzido por atividades industriais (John, 2000). A geração de RCC é tão grande que quando se compara o volume produzido com a quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) coletados no Brasil, verifica-se que o volume total de RCC equivale, em média, a 63% do volume total de RSU. Na Região Sul o volume gerado de RCC é, em média, equivalente a 77% do volume de RSU (Tabela 1). Estes dados demonstram a importância econômica do setor da construção civil e, ao mesmo tempo, o desafio em relação ao gerenciamento dos RCC.

Tabela 1 – Quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) e de resíduos da construção civil (RCC) coletados no Brasil anualmente.

Ano	Brasil			Região Sul		
	RSU (t/dia)	RCC (t/dia)	RCC x RSU (%)	RSU (t/dia)	RCC (t/dia)	RCC x RSU (%)
2016 <sup>1</sup>	193.637	123.619	63,8	20.987	16.718	79,7
2017 <sup>1</sup>	196.050	123.421	63,0	21.327	16.472	77,2
2018 <sup>2</sup>	199.311	122.012	61,2	21.561	16.246	75,3
2020 <sup>3</sup>	208.437	128.760	61,8	23.264	17.451	75,0
2021 <sup>4</sup>	209.549	132.575	63,3	23.463	18.027	76,8
2022 <sup>4</sup>	208.543	-	-	23.038	-	-

Fonte: 1 – ABRELPE, 2018; 2 – ABRELPE, 2019; 3 – ABRELPE, 2021; 4 – ABRELPE, 2022.

De acordo com Careli (2013), 50% do total de RCC gerados são de materiais Classe A, conforme disposto na Resolução CONAMA nº 307/2002 (CONAMA, 2002), e compostos por alvenarias, concretos, argamassas e cerâmicas. Esses materiais são os que têm melhor uso na produção de agregados reciclados e são os que podem ser utilizados para bases e sub-bases para pavimentação, contrapisos, drenagens, entre outros usos. De modo geral, os volumes de resíduos gerados na construção civil são altos e uma boa parte desses materiais podem ser reutilizados em obras das mais variadas formas, o que contribui para diminuir o impacto ambiental passível de ser causado pelo descarte inadequado (ABRELPE, 2020).

Segundo dados do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP) (2015), “a geração dos resíduos ocorre de forma difusa nas cidades, sendo que a maior parcela é proveniente de reformas e da autoconstrução” que juntas são responsáveis por de 70% do volume gerado. Desse modo, para que se tenha uma solução efetiva, considerando-se que também há especificidades regionais, “são necessárias ações integradas dos governos municipal, estadual e federal com a iniciativa privada” (SINDUSCON-SP, 2015). Neste contexto, para facilitar a reutilização e reciclagem dos RCC, é necessária a segregação correta dos mesmos nas obras. Assim, melhorar a informação sobre a prática da reciclagem é uma das ações que podem ser implementadas para reduzir o desperdício de recursos naturais, especialmente no setor da construção civil, no qual a prática da utilização de materiais recicláveis ainda é muito pequena (John, 2000).

Além dos problemas de gerenciamento dos RCC que ocorrem nas obras, outros podem ser relacionados aos prestadores de serviço de transporte desses materiais ou a informações de órgãos competentes. Para o gestor de uma usina de reciclagem de RCC situada na região de Criciúma, há falta de informações corretas sobre esses materiais tanto por parte dos transportadores quanto dos órgãos públicos. Ainda, de acordo com ele, os problemas associados ao descarte irregular, como pode ser observado na figura 1, são gerados “por ser muito fácil para quem transporta o material desviar, pois a fiscalização é falha e acaba sendo muito fácil para desviar a entrega”.

Figura 1 – Descarte irregular de RCC e de outros materiais nas margens de via pública.



Fonte: Autor, 2023.

É fato que o setor da construção civil tem um papel fundamental no desenvolvimento econômico da sociedade e na ampliação da infraestrutura em países em desenvolvimento, como o Brasil (Souza; Pires, 2022). Contudo, também é fato que esta atividade contribui significativamente para o volume de resíduos gerados (Souza; Pires, 2022). Neste sentido, a utilização de recursos renováveis, a redução do consumo de recursos não renováveis, assim como a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos gerados podem tornar as intervenções do homem menos agressivas (Pinto *et al.*, 2019).

## 1.2 O uso de resíduos da construção civil

Atualmente, a maior parte dos RCC reutilizados servem como material britado para fins de uso como base para assentamento de pisos ou material não britado utilizado como aterro, mesmo que nem sempre licenciado. De acordo com o gestor da usina de reciclagem de RCC, um fator que dificulta o aumento o uso dos RCC está associado a desconfiança de responsáveis por obras acerca da viabilidade de uso desses materiais para funções estruturais, tendo em vista que estes podem ser utilizados para mais fins do que simplesmente enchimento para assentamento de pavers ou lajotas e drenagem. Corroborar esta afirmação o fato de que a última atualização da Norma Brasileira (NBR) nº 15116/2021, da Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT, 2021) apresenta o uso de agregado reciclado de RCC como

opção para concreto estrutural, substituindo parcialmente o agregado natural, na ordem de até 20% do volume total de agregado na mistura, desde que o mesmo seja da Classe A e que sua massa seja composta por, pelo menos, 90% de fragmentos à base de cimento Portland e rochas, isto é, que sejam resíduos da Classe A, subclasse Agregado Reciclado de Concreto (ARCO). Outra opção para utilização de agregado reciclado de RCC é na pavimentação de vias como base, sub-base e subleito, sendo que para tal uso não há exigência de alta qualidade de britagem. Alguns autores já se debruçaram sobre o tema, como Dal Molin *et al.* (2004), Taveira *et al.* (2009), e Kohler (2013).

## 2 METODOLOGIA

O presente estudo pode ser caracterizado como pesquisa descritiva, pois se buscou a descrição de fatos e informações relacionados à geração e manejo de resíduos da construção civil (RCC), e de finalidade aplicada, sendo utilizadas técnicas para produzir e analisar blocos cimentícios do tipo paver produzidos em escala industrial com diferentes percentuais de agregados reciclados de RCC (Gil, 2018).

Para a produção dos blocos cimentícios foram elaboradas quatro formulações distintas, conforme apresentado na tabela 2. Para cada uma destas formulações foram produzidos 50 blocos (pavers) retangulares com 10 x 20 x 6 cm. Além destas, também foram testados blocos produzidos com a formulação de referência (100PP) utilizada pela indústria.

Tabela 2 – Formulação de referência (100PP) e formulações contendo diferentes percentuais de agregado reciclado de RCC utilizados no estudo.

<b>Formulações</b>	<b>Pó-de-pedra (%)</b>	<b>Agregado reciclado de RCC (%)</b>
100PP (Referência)	100	0
25AR	75	25
50AR	50	50
75AR	25	75
100AR	0	100

Fonte: Autor, 2023.

O agregado reciclado utilizado total ou parcialmente na produção dos blocos cimentícios foi obtido em uma empresa recicladora situada no município de Criciúma

que recebe RCC de toda a região sul do Estado. Após a chegada ao pátio da recicladora, os RCC são separados e classificados de acordo com a Resolução nº 307/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (CONAMA, 2002). O material utilizado para produção do agregado reciclado é constituído por resíduos classificados como “Classe A” oriundos de construções, demolições, reformas e variantes (ABNT, 2021). Após a triagem inicial, o material “Classe A” fica armazenado em galpão coberto até o momento da britagem (Figura 2). Conforme a demanda para fornecimento de agregado reciclado, o material é triturado em um britador de mandíbulas (Figura 3).

Figura 2 – Material recebido na usina de reciclagem sem triagem (01), material preparado para processo de separação (02) e galpão na usina de reciclagem com RCC Classe A armazenado para o processo de britagem (03).



Fonte: Autor, 2023.

Figura 3 – Britador de mandíbulas utilizado na produção de agregado reciclado de RCC.



Fonte: Autor, 2023.

Amostras do agregado reciclado utilizado neste estudo foram submetidas à análise granulométrica por peneiramento, conforme descrito pela norma NBR/ABNT nº 15116/2021 (ABNT, 2021). Também foi realizada a análise granulométrica de

amostras do pó-de-pedra e da areia média, que são insumos normalmente utilizados pela empresa que produziu os blocos cimentícios utilizados no estudo.

A produção dos blocos cimentícios foi realizada em uma indústria de artefatos de cimento, que também cedeu 50 unidades produzidas com a sua formulação referência (100PP) para realização das análises. A produção foi realizada pelo processo de vibroprensagem e para isso os insumos (cimento, pó-de-pedra, areia média e agregado reciclado) foram previamente pesados, dosados por massa e separados de acordo com as quantidades necessárias para as diferentes formulações contendo o agregado reciclado (Figura 4(01)). O traço seguiu o procedimento já adotado pela empresa, sendo a única alteração a substituição do pó-de-pedra pela quantidade equivalente de agregado reciclado, de acordo com as formulações previstas para o estudo. Uma vez pesadas as quantidades, a produção da massa foi realizada em uma máquina chamada misturador por aproximadamente 3 minutos, o que possibilitou que fossem seguidos os mesmos procedimentos para todos os traços (Figura 4(02)). As quantidades de insumos da formulação de referência são apresentada na tabela 3.

Tabela 3 – Formulação de referência usada pela indústria para produção dos blocos.

Formulação	Insumos			
	Cimento (kg)	Pó-de-pedra (kg)	Areia média (kg)	Água (L)
100PP	40	160	90	4,5

Legenda: kg – Quilogramas; L - Litros  
Fonte: Autor, 2023.

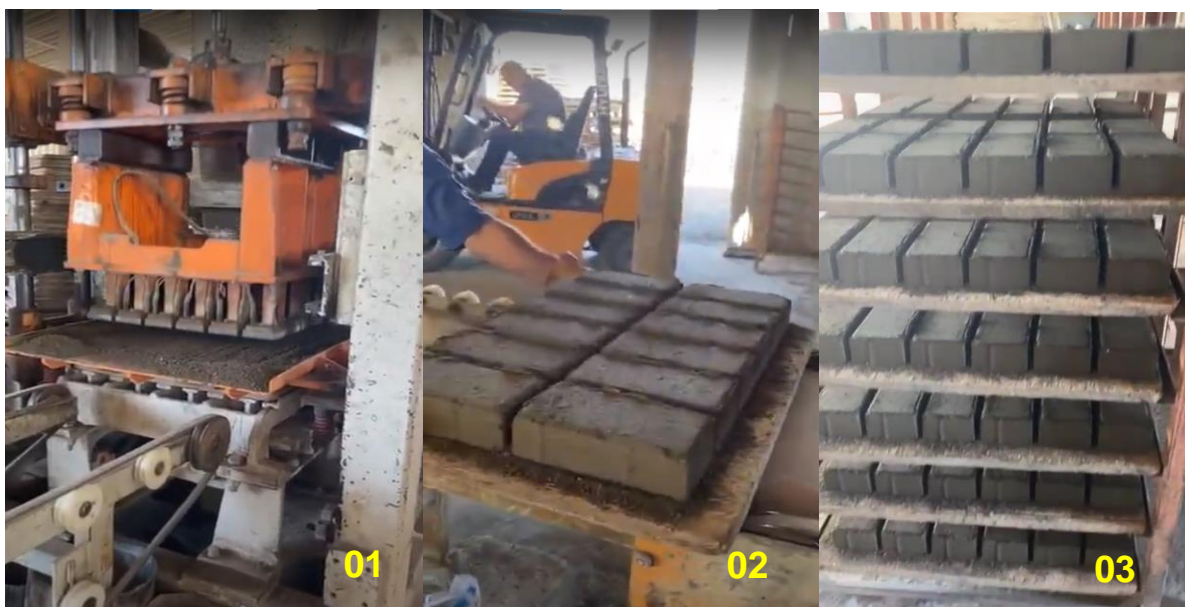
Figura 4 – Controle de quantidades dos insumos de cada formulação (01) e produção da massa no misturador (02).



Fonte: Autor, 2023.

Em seguida, a argamassa foi despejada em uma prensa vibratória, que a deposita em formas para prensagem dos blocos e de onde eles seguem em bandejas que são colocadas em estantes para o processo de cura em temperatura ambiente por, pelo menos, sete dias, antes de serem remanejados (Figura 5) e conforme padrão da empresa, foi respeitado o tempo de cura de 28 dias antes que fossem realizados quaisquer ensaios com as amostras.

Figura 5 – Produção dos blocos cimentícios na prensa vibratória automática (01), blocos prontos dispostos em bandeja para seguirem para o processo de cura (02) e bandejas nas estantes de cura (03).



Fonte: Autor, 2023.

Após a cura, os blocos foram testados no Laboratório de Estruturas e Laboratório de Material e Solos do IFSC Campus Criciúma para avaliar a viabilidade técnica. Foram realizados os ensaios de compressão, conforme NBR/ABNT nº 9781/2013 (ABNT, 2013), de massa específica, conforme previsto na NBR/ABNT nº 16916/2021 (ABNT, 2021) e de teor de umidade para cálculo de porosidade, conforme NBR/ABNT nº 9775 (ABNT, 2011).

A análise do custo-benefício econômico foi realizada a partir da avaliação entre do custo final para produção de cada uma das formulações e da formulação padrão. Também foi estimado o custo-benefício para as construtoras no que se refere às vantagens econômicas associadas à correta segregação dos RCC nas obras.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 A geração e o descarte de Resíduos da Construção Civil na região de Criciúma, SC

O gerenciamento de RCC na região de Criciúma ainda não é um procedimento que acontece naturalmente dentro das empresas. Em contato informal com algumas delas, verificou-se que há aquelas que têm processos de controle e destinação desses materiais bem organizados, porém, também se verificou que há empresas pouco dispostas a demonstrar seus controles de gerenciamento e destinação de RCC. Na usina de reciclagem, segundo informações obtidas informalmente com seu gestor, a procura pelo descarte correto vem aumentando, mas ainda é algo que pode melhorar muito. Ainda, de acordo com o gestor, já se observa uma melhora na segregação e classificação dos resíduos antes de envio para a usina de reciclagem, o que contribui para que o valor final do agregado reciclado seja menor, pois muito do serviço da usina ainda é feito de forma manual e isso consome tempo e aumenta os custos de produção. A segregação correta também representa redução de custos para as construtoras, tendo em vista que o valor pago para cada 5 m<sup>3</sup> (volume médio de um caçambão) de material sem classificação é de R\$ 280,00, enquanto que um caçambão de material selecionado custa a partir R\$ 220,00, dependendo da classificação do material, conforme estabelecido pela Resolução nº 307/2002 (CONAMA, 2002), o que representa uma economia de até 21,4%.

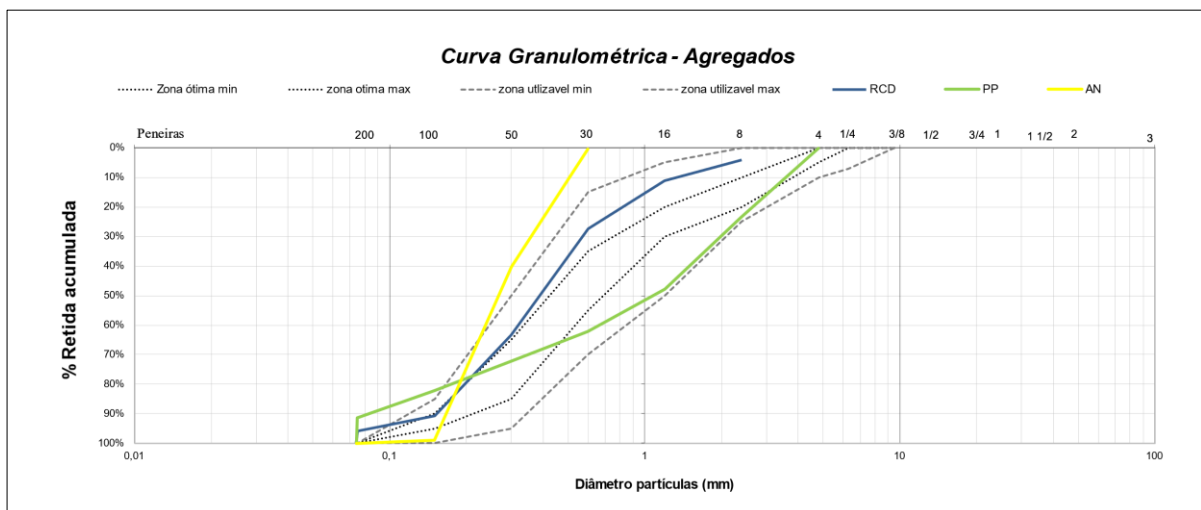
Em razão da quantidade de obras e de construtoras em atividade, os órgãos públicos responsáveis pela fiscalização do gerenciamento de RCC não conseguem obter um controle eficaz quanto à geração de RCC no município. Segundo informações obtidas junto à Divisão de Fiscalização Urbana (DFU) da Prefeitura de Criciúma, a quantidade de obras e reformas e a dispensa de elaboração e apresentação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) para obras de até 150 m<sup>2</sup> contribuem para a falta de controle. Além disso, o controle é inexistente mesmo para as obras em que é exigida a apresentação do PGRCC, pois após ser realizada a solicitação da Declaração do Controle de Transporte de Resíduos (CTR) junto ao setor competente da Prefeitura, não há nenhuma forma de fiscalização ou acompanhamento pelo órgão público acerca do cumprimento do declarado na CTR, a menos que ocorra alguma denúncia de irregularidade. Ainda, segundo informações

da Diretoria de Meio Ambiente de Criciúma (DMACRI), a fiscalização ou coleta de dados referentes aos RCC, se existe, é feita pela DFU, pois a DMACRI apenas emite e cobra a cada 6 meses, de forma digital e quando necessário, os licenciamentos de construção ou de manejo de resíduos.

### 3.2 O processo de produção dos blocos cimentícios em escala industrial

A análise granulométrica mostrou que o agregado reciclado de RCC tem uma curva granulométrica mais semelhante à curva granulométrica da areia média quando comparada à curva granulométrica do pó-de-pedra (Figura 6).

Figura 6 – Curva granulométrica dos do agregado reciclado de RCC, do pó-de-pedra e da areia média.



Fonte: Autor, 2023.

Este resultado pode estar relacionado ao fato de que a maior parte da areia média e do agregado reciclado de RCC se concentraram nas peneiras de 300  $\mu\text{m}$  e de 150  $\mu\text{m}$ , mostrando uma variação mais semelhante quando comparado ao pó-de-pedra. Apesar desta semelhança, chama a atenção o fato de que a distribuição granulométrica do agregado reciclado ocorreu em todas as peneiras, com maior concentração (63,1%) nas peneiras de 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ , enquanto que 98,72% dos componentes da areia média ficaram retidos na peneira de 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ . Por outro lado, a curva granulométrica do pó-de-pedra apresentou uma distribuição mais uniforme, embora com uma maior concentração de materiais nas peneiras de 2,36 mm e 1,18 mm, equivalente a 19,6% (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise granulométrica dos insumos e seus respectivos percentuais retidos em cada peneira.

Peneira	Agregado reciclado de RCC		Areia média		Pó-de-pedra	
	g	%	g	%	g	%
4,75 mm	4,10	1,03	0,00	0,00	0,90	0,22
2,36 mm	13,38	3,34	0,02	0,00	92,07	23,01
1,18 mm	28,04	7,01	0,07	0,02	100,05	25,01
600 µm	64,37	16,09	1,46	0,37	59,11	14,78
300 µm	144,45	36,10	161,46	40,36	39,06	9,76
150 µm	108,03	27,00	233,46	58,36	39,36	9,84
75 µm	20,36	5,09	3,36	0,84	35,83	8,95
Pulverulento	17,38	4,34	0,20	0,05	33,73	8,43
<b>Total</b>	<b>400,11</b>	<b>100,00</b>	<b>400,03</b>	<b>100,00</b>	<b>400,11</b>	<b>100,00</b>

Legenda: g – gramas.  
Fonte: Autor, 2023.

### 3.3 Resultados das análises técnicas dos blocos produzidos

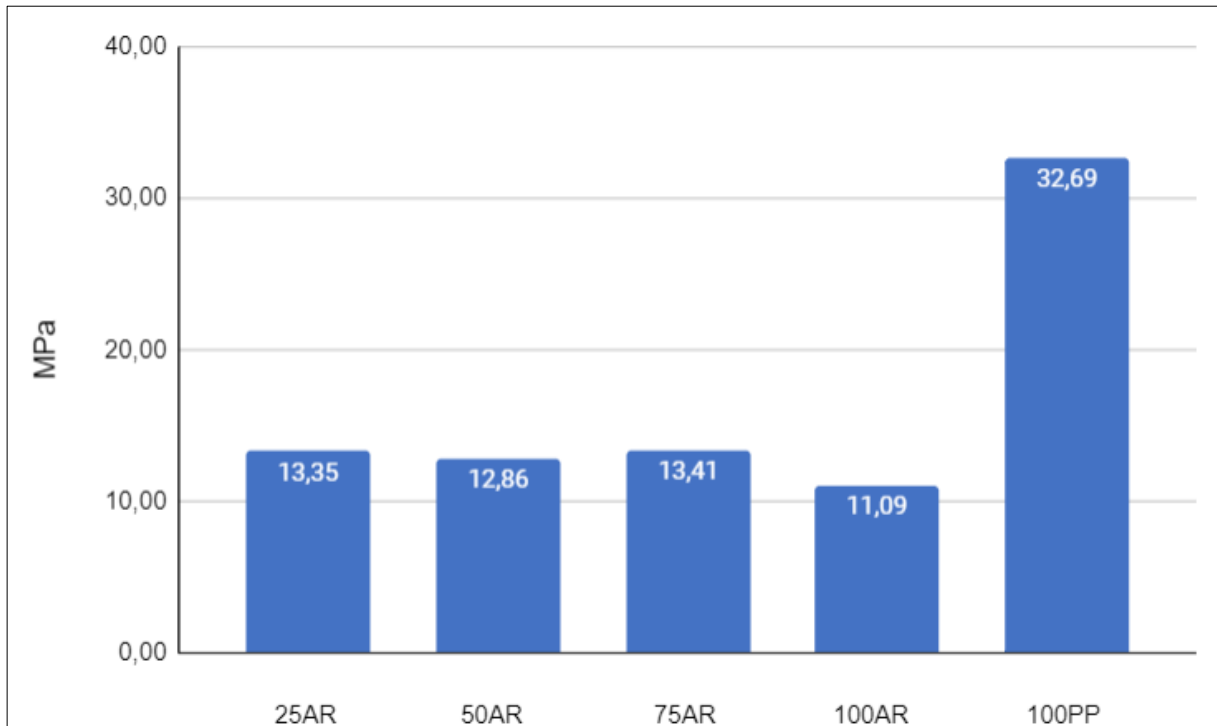
Após o processo de cura dos blocos cimentícios, respeitado o prazo de 28 dias, foram realizados testes de resistência à compressão em três unidades inteiras dos blocos produzidos com cada uma das diferentes formulações contendo agregado reciclado e com três unidades produzidas com a formulação padrão utilizadas pela indústria. Indiferente da quantidade de RCC incluída na mistura, a resistência obtida até o rompimento das peças produzidas com diferentes percentuais de agregado reciclado variou entre 9,32 MPa e 16,53 MPa. A resistência à compressão obtida no mesmo teste para os blocos produzidos com os insumos regularmente utilizados pela empresa (100PP) e seguindo o mesmo processo de produção variou próximo de 32,69 MPa (Tabela 5; Figura 7).

Tabela 5 – Resistência ao rompimento por compressão dos blocos produzidos com adição de agregado reciclado de RCC e com a formulação de referência (100PP).

	Agregado reciclado (%)	Pó-de-pedra (%)	Resistência à compressão (MPa)	Desvio-Padrão (MPa)
25AR	25	75	13,35	3,02
50AR	50	50	12,86	1,84
75AR	75	25	13,41	0,48
100AR	100	0	11,09	1,63
100PP	0	100	32,69	0,99

Legenda: MPa – Mega Pascal.  
Fonte: Autor, 2023.

Figura 7 – Gráfico de resistência ao rompimento por compressão obtido para os blocos produzidos com diferentes percentuais de agregado reciclado de RCC e para os blocos produzidos com a formulação de referência (100PP).

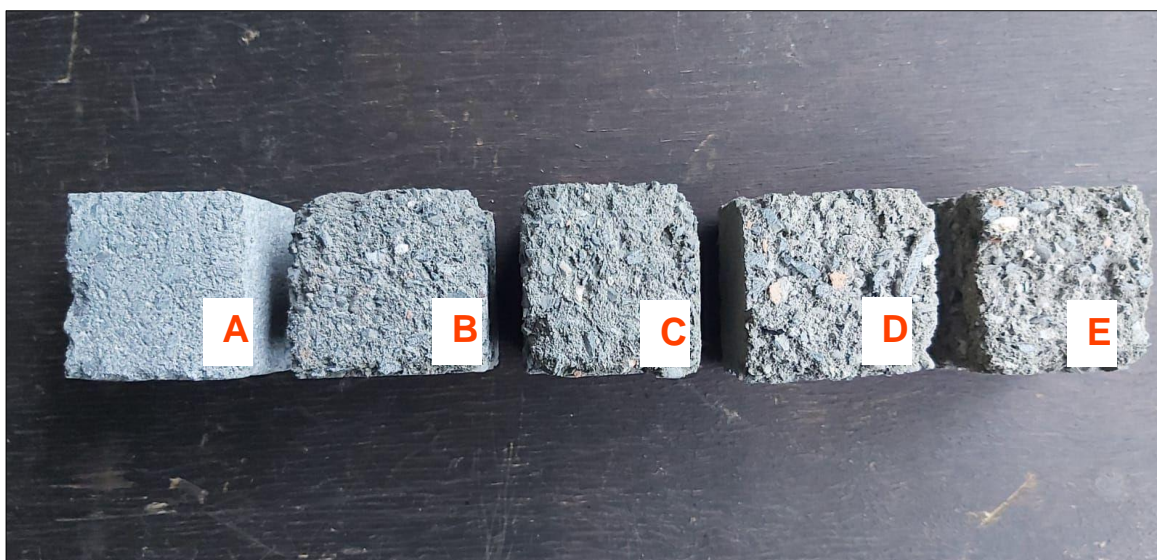


Fonte: Autor, 2023.

Conforme se pode observar na figura 7, as amostras com 25%, 50% e 75% de agregado reciclado mostraram uma variação na resistência ao rompimento por compressão muito semelhantes umas das outras, enquanto que a resistência ao rompimento por compressão das amostras com 100% de agregado reciclado foi um pouco menor. Estes resultados evidenciam que independente da quantidade de agregado reciclado utilizado na formulação, a resistência ao rompimento por compressão de todos os blocos produzidos com a inclusão de percentuais de agregado reciclado não atingiram o valor mínimo necessário para o uso em pavimentação de vias, que é de 35 MPa, conforme estabelecido pela NBR/ABNT nº 9781/2013 (ABNT, 2013). No entanto, os mesmos possuem resistência satisfatória ou suficiente para serem utilizados na pavimentação de calçadas e similares. Ainda, embora os blocos produzidos pelo processo padrão da indústria tenham tido resultados semelhantes entre si e superiores em mais de 100% aos obtidos por aqueles produzidos com algum percentual de agregado reciclado, mesmo assim não atingiram a resistência mínima exigida pela NBR/ABNT nº 9781/2013 (ABNT, 2013). O corte dos blocos em corpo de prova de 40 x 40 mm evidenciou que o arranjo

granulométrico interno é visivelmente inferior à medida que aumentou o percentual de inclusão de agregado reciclado, por ele ser um material com menor quantidade de finos, acaba dando um aspecto mais grosseiro na face de corte das peças. Também foi possível observar que o acabamento superficial dos blocos cimentícios foi menos regular à medida que o percentual de agregado reciclado foi aumentado (Figura 8).

Figura 8 – Aspecto superficial do arranjo granulométrico da face de corte dos corpos de prova de 40x40 mm: A – 0% de agregado reciclado; B – 25% de agregado reciclado; C – 50% de agregado reciclado; D – 75% de agregado reciclado; e E – 100% de agregado reciclado.



Fonte: Autor, 2023.

O comportamento granulométrico dos materiais utilizados na produção dos blocos foi analisado com o uso do ensaio de massa específica de agregados miúdos pelo método do frasco de Chapman. Para o ensaio, foram triturados manualmente com auxílio de uma marreta uma amostra de cada bloco produzido com diferentes percentuais de agregado reciclado, até que o mesmo tivesse o tamanho de grãos estabelecido pela norma, de forma a poderem ser comparados. Após triturados, para obtenção dos resultados foram seguidas as etapas previstas pela NBR/ABNT n° 9775 (ABNT, 2011). Os resultados destes ensaios evidenciaram que a massa específica da mistura padrão utilizada pela indústria é entre 3,8% e 6,3% maior que as misturas contendo agregado reciclado (Tabela 6). A menor massa específica das misturas contendo agregado reciclado contribuiu significativamente para reduzir o arranjo granulométrico interno dos blocos, uma vez que quanto mais se aumenta a quantidade

de agregado reciclado na amostra, maiores são as quantidades de vazios, o que pode ter contribuído para reduzir a sua resistência final.

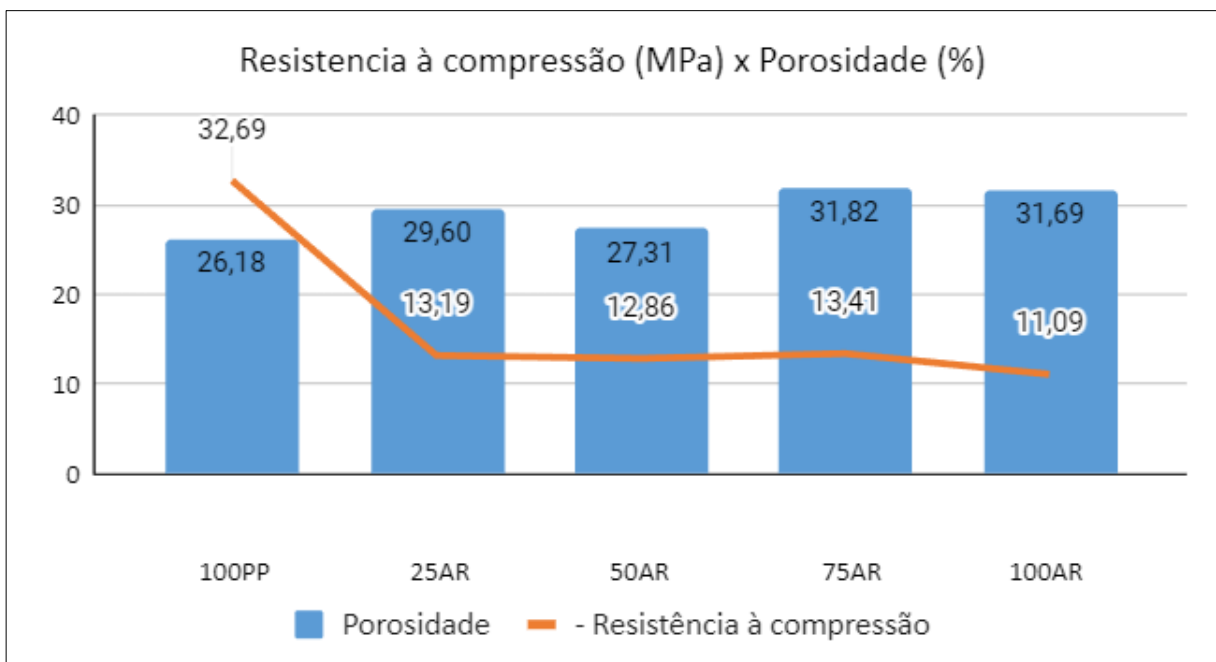
Tabela 6 – Resultados obtidos para a massa específica pelo método do frasco de Chapman.

Amostras	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
100PP	2.824
25AR	2.717
50AR	2.702
75AR	2.688
100AR	2.645

Fonte: Autor, 2023.

A análise da porosidade permitiu observar que ao adicionar o agregado reciclado, verificou-se um aumento da porosidade, passando de 26,18%, quando foi usado 100% de pó-de-pedra, para 31,82% quando se utilizou de 75% de agregado reciclado.

Figura 9 – Relação entre porosidade (%) e Resistência à compressão (RC - MPa).



Fonte: Autor, 2023.

Estes resultados evidenciam que o aumento na porosidade prejudicou a resistência à

compressão das amostras. Contudo, esse aumento da porosidade faz essas peças terem uma melhor absorção de água, por aumentar seu número de vazios internos. Assim, essas peças acabam tendo um melhor desempenho em relação à permeabilidade e, automaticamente, sendo mais eficientes para diminuir o acúmulo de água na sua superfície, melhorando a drenagem natural das áreas onde sejam utilizadas.

Em relação ao custo-benefício econômico da utilização de agregado reciclado de RCC na produção de blocos cimentícios foi calculado considerando que apenas foi realizada a substituição parcial do pó-de-pedra por agregado reciclado, que o valor do m<sup>3</sup> do pó-de-pedra é de R\$ 90,00 e que o m<sup>3</sup> do agregado reciclado custa R\$ 35,00, o que representa 61,11% a menos que o valor do produto natural. Com 1 m<sup>3</sup> de pó-de-pedra pode-se produzir, em média, 25 m<sup>2</sup> de área de pavimento. Dessa forma, então para uma pavimentação de 1.000 m<sup>2</sup>, caso fosse utilizado 50% de pó-de-pedra e 50% de agregado reciclado, seria uma economia de R\$ 2.300,00 para a empresa que produz o bloco.

A tabela 7 mostra o comparativo de valores entre uma peça produzida com cada percentual de agregado natural e agregado reciclado. Os valores dos insumos utilizados assim como as quantidades, são com base nos que foram repassados pela empresa produtora dos blocos cimentícios.

Tabela 7 - Comparativo de valores para produção de 1 m<sup>2</sup> de bloco cimentício para cada uma das formulações com agregado reciclado.

	Formulações				
	100PP	25AR	50AR	75AR	100AR
Custo de produção (R\$/m <sup>2</sup> )	20,90	19,25	18,15	17,05	15,95

Fonte: Autor, 2023.

A partir dos resultados obtidos e considerando o custo da areia média, pode-se inferir que se ao invés de trocar o pó-de-pedra pelo agregado reciclado, fosse feita substituição da areia média, os resultados poderiam ser ainda mais satisfatórios, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Além disso, quando o agregado reciclado de RCC é utilizado, por ser um material com quantidade de finos maiores que o pó-de-pedra, precisa-se de uma quantidade maior para a hidratação desses finos, o que demanda uma quantidade maior de água para que a mistura fique adequada. Outra análise que pode ser levada em consideração é a quantidade de cimento utilizado,

pois isto influencia na resistência de um concreto (fator água/cimento) e, conseqüentemente, alterando a quantidade de cimento, tem-se também uma variação na quantidade de água, sendo fator importante de análise financeira.

## **5 CONCLUSÃO**

O uso de agregado reciclado de RCC na produção de blocos cimentícios é possível, porém seu uso em substituição direta ao pó-de-pedra precisa de outras variáveis para não perder resistência mecânica. Os resultados mostraram que apesar de não atingir a resistência mecânica necessária para pavimentação de vias, ainda assim possuem resistência suficiente para serem utilizados em pavimentação de calçadas e similares. Quanto à parte econômica, nota-se que é viável financeiramente tanto para a empresa produtora do agregado reciclado de RCC, que pode ter diminuição de gastos realizando o manejo corretamente, quanto para quem faz seu uso, pois o agregado reciclado de RCC tem um valor inferior ao produto natural.

Considera-se, no entanto, serem necessários mais estudos sobre a utilização de agregado reciclado de RCC, porém é importante que esse material seja empregado nas empresas do ramo de construção civil e que este tema seja mais abordado nas universidades, que é de onde saem os futuros administradores e gestores de obras. Também é importante ressaltar que ainda não se tem dados conclusivos sobre até onde se pode ir com o uso do agregado reciclado, mas que é fundamental que a indústria invista para se adequar ao uso dele.

Usar agregado reciclado de RCC é uma resposta simples para contribuir com a sustentabilidade ambiental, visto que a construção civil é um dos setores que mais faz uso de recursos naturais e também uma das maiores geradoras de resíduos. Assim, diminuir o uso de recursos naturais e melhorar os hábitos de descartes são opções fundamentais para reverter esse quadro.

Estudo de materiais sustentáveis, construções verdes e eficiência energética também devem ser assuntos cada vez mais presentes na formação dos profissionais da construção civil, tornando-se assim um compromisso de todo engenheiro a pesquisa de métodos que possam frear o uso indiscriminado dos recursos naturais, contribuindo assim, para que a população tenha uma melhor qualidade de vida em um planeta sustentavelmente habitável.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Marley Rosana Melo de et al. Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. **Psicologia & Sociedade**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 574-582, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-71822011000300015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/psoc/a/XWXTQXKJ44BtT5Qw7dLWgvF/>. Acesso em: 14 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2018/2019**. São Paulo, ABRELPE, 2019. 68 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2020**. São Paulo, ABRELPE, 2020. 52 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2021**. São Paulo, ABRELPE, 2021. 54 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2022**. São Paulo, ABRELPE, 2022. 64 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 9775**: Agregado Miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 9781**: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland: requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 16916**: Agregado miúdo — Determinação da densidade e da absorção de água. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021. 7 p.

BRASIL. **Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010**, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 02 jun. 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307**, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2002.

CARDOSO, Luiza Moura. **Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil**. 2022. Disponível em: [https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/?utm\\_source=cpc\\_google-search-ads&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=plataforma&utm\\_campaign=f2-p1p2p3p4-performance-max-sc&gclid=Cj0KCQjw7PCjBhDwARIsANo7CgnRa991JpYSZbzBjkVawuEyFuwogdxPF3htyBk6svpUnaHxj-9vpf4aAnhOEALw\\_wcB](https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/?utm_source=cpc_google-search-ads&utm_medium=cpc&utm_content=plataforma&utm_campaign=f2-p1p2p3p4-performance-max-sc&gclid=Cj0KCQjw7PCjBhDwARIsANo7CgnRa991JpYSZbzBjkVawuEyFuwogdxPF3htyBk6svpUnaHxj-9vpf4aAnhOEALw_wcB). Acesso em: 03 jun. 2023.

CARELI, Elcio. **Resíduos da construção civil devem ter destinação e gestão adequada**. Disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/residuos-da-construcao-civil-devem-ter-destinacao-e-gestao-adequada\\_6592\\_10\\_20](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/residuos-da-construcao-civil-devem-ter-destinacao-e-gestao-adequada_6592_10_20). Acesso em: 25 mai. 2013.

CUNHA, Ivan Carlos. **Manutenção de vias urbanas: um exemplo de falta de gestão**. 2020. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/blog/manutencao-de-vias-urbanas-um-exemplo-de-falta-de-gestao/>. Acesso em: 14 jun. 2023.

Dal Molin, D.; Vieira, G.; Lima, F. (2004) **Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição**. Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho, vol. 19, p. 5-18

DIAS, J. A construção civil e o meio ambiente. In: CONGRESSO ESTADUAL DE PROFISSIONAIS CREA, 2004, Minas Gerais. **Anais [...]**. Uberlândia, Minas Gerais, 2004.

DONATO, Laryssa de Almeida; BARBOSA, Maria de Fátima Nóbrega; MOREIRA, Erivaldo Barbosa. Reciclagem: o caminho para o desenvolvimento sustentável. **Polêmica**, [S.l.], v. 15, n. 2, p. 023-034, jul. 2015. ISSN 1676-0727. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/17838/13286>. Acesso em: 04 jun. 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

JOHN, V. M.; **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre Docência em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. doi:10.11606/T.3.2000.tde-27072022-082553. Acesso em: 14 jun. 2023.

KÖHLER, Lucas Guilherme. **Desempenho Técnico de Blocos de Concreto para Pavimento Intertravado com Resíduo de Construção e Demolição**. 2013. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

MUCELIN, Carlos Alberto; BELLINI, Marta. Lixo e impactos ambientais perceptíveis

no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 111-124, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-45132008000100008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/q3QftHsxztCjbWxKmGBcmSy/?lang=pt>. Acesso em: 14 jun. 2023.

PINTO, R. B, FABRÍCIO, E. P., BRUM, N., KOHLER, F. A. Resíduos da construção civil: matéria prima verde a ser investigada. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 2, p. 1339-1351, 2019.

SANTANA, Rhaldney Felipe de; ARAGÃO JÚNIOR, Wilson Ramos; EL-DEIR, Soraya Giovanetti (org.). **Resíduos sólidos: desenvolvimento e sustentabilidade**. Recife: Repositório Institucional da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2020. 479 p. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/2342>. Acesso em: 17 mar. 2023.

RUBIM, Barbara; LEITÃO, Sérgio. O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 27, n. 79, p. 55-66, 2013. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142013000300005>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SÃO PAULO. Prefeitura de Bragança Paulista. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Descarte irregular de lixo é uma das principais causas de enchentes no país**. 2023. Disponível em: <https://www.braganca.sp.gov.br/noticias/descarte-irregular-de-lixo-e-uma-das-principais-causas-de-enchentes-no-pais#:~:text=Um%20dos%20grandes%20fatores%20que,passagem%20da%20%C3%A1gua%20no%20local..> Acesso em: 17 maio 2023.

SINDUSCON. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: SindusCon, 2015.

SOUZA, Natanael Santos de; PIRES, Rachel Cristina Santos. **Gestão de Resíduos na Construção Civil: impactos, redução, reutilização e descarte**. 2022. Disponível em: <https://angulos.crea-rj.org.br/gestaoderesiduos/>. Acesso em: 04 jun. 2023.

TAVEIRA, Alberto; SOARES, Rafael; RODRIGUES, Lenize Sarmiento; VASCONCELOS, Raimundo Pereira de; CAMPELO, Nilton. Pavimentos intertravados de concreto fabricados com utilização de resíduos de construção e demolição (RCD). In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO (ENARC), 1., 2009, Feira de Santana. **Anais [...]**. Feira de Santana: Antac, 2009. p. 424-434. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322040388\\_PAVIMENTOS\\_INTERTRAVADOS\\_DE\\_CONCRETO\\_FABRICADOS\\_COM\\_UTILIZACAO\\_DE\\_RESIDUOS\\_DE\\_CONSTRUCAO\\_E\\_DEMOLICAO\\_RCD/link/5a3fced0f7e9ba8689ddd12/download?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/publication/322040388_PAVIMENTOS_INTERTRAVADOS_DE_CONCRETO_FABRICADOS_COM_UTILIZACAO_DE_RESIDUOS_DE_CONSTRUCAO_E_DEMOLICAO_RCD/link/5a3fced0f7e9ba8689ddd12/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19). Acesso em: 20 out. 2023.