



Alternativas para Redução do Impacto Ambiental Causado pelos Resíduos da Construção Civil

Alternatives for Reducing the Environmental Impact Caused by Construction Waste

LOPES, Anderson Bueno¹, PERTEL Monica²

¹ Especialista em Planejamento, Gestão e Controle De Obras Civis, Rio de Janeiro – RJ.

² Doutora em Engenharia Civil, DRHIMA, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Resíduos da Construção

Civil (RCC)

Resíduos Sólidos Urbanos

(RSU)

Reciclagem

Key word:

Construction Waste (CW)

Urban Solid Waste (USW)

Recycling

Resumo:

O processo de produção do cimento é causador de grande impacto ambiental. Além de emitir quantidades substanciais de CO₂, exige a exploração de recursos naturais e demanda altas quantidades de energia. Ademais, sabe-se que a indústria da construção gera um grande volume de resíduos. Uma enorme quantidade dos resíduos da construção civil (RCC) no Brasil são dispostos irregularmente em lixões e outros locais inadequados todos os dias. Dessa forma, o objetivo deste artigo é o de abordar através de uma revisão bibliográfica, as diversas alternativas para a redução dos impactos dos RCC, dado seu alto potencial de reaproveitamento, tanto através da sua reintrodução na indústria da construção como de outras formas. Através desta análise, verificou-se que o uso dos resíduos da construção civil sugere um menor impacto ambiental, dada uma menor necessidade de exploração dos recursos naturais, uma diminuição na geração de resíduos e a captura de CO₂ pelos agregados reciclados de RCC.

Abstract

The cement production process causes significant environmental impact. In addition to emitting substantial amounts of CO₂, it requires the exploitation of natural resources and demands high amounts of energy. Furthermore, it is known that the construction industry generates a large volume of waste. A huge amount of construction waste (CW) in Brazil is irregularly disposed of in landfills and other inappropriate locations every day. Thus, the objective of this article is to address, through a literature review, the various alternatives for reducing the impacts of CW, given its high potential for reuse, both through its reintroduction into the construction industry and in other ways. Through this analysis, it was found that the use of construction waste suggests a lower environmental impact, given a reduced need for natural resource exploitation, a decrease in waste generation, and the capture of CO₂ by recycled CW aggregates.

1. Introdução

O processo de produção do cimento é um

dos processos industriais de maior impacto ambiental, sendo responsável por cerca de 5% das emissões mundiais de CO₂ [1]. Sua

fabricação exige exploração de recursos naturais e uso de muita energia [2]. Segundo a IEA [1], a produção de cimento crescerá de 12% a 23% até 2050, o que traz maior preocupação e provoca reflexões tanto sobre seu ciclo de vida, quanto dos produtos com ele produzidos.

Um outro problema da indústria da construção civil, o qual será dado ênfase nesse estudo, é a destinação dos RCC. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), 50% dos municípios brasileiros ainda destinam os seus resíduos para lixões ou locais irregulares ao invés de reciclá-los [3].

A ABRECON afirma que apenas 20% dos RCC são reciclados no Brasil [3]. Em contrapartida, a União Europeia recicla cerca de 70% do seu RCC, chegando a reciclar até 80% nos casos da Bélgica e da Holanda [4]. Esses exemplos, mostram que é possível reduzir a quantidade de RCC que são dispostos em locais sem o devido cuidado.

Desse modo, o presente trabalho visa discutir as possibilidades de se reutilizar ou reciclar os RCC de forma a mitigar os impactos ambientais causados por esses.

Dentre as várias possibilidades de reaproveitamento do RCC as principais são: camadas de base e sub-base de pavimentação, cobertura primária de vias, fabricação de argamassas de assentamento, revestimento, produção de tijolos, concretos, pré-moldados e camadas drenantes [5,6].

Além desses o RCC ainda pode ser usado na produção de cimentos compostos, onde utilizam-se adições minerais para a produção de cimentos com fins específicos. Os cimentos produzidos com RCC permitem uma menor extração de matéria-prima [7].

Em resumo, existem diversas alternativas para que os resíduos da construção Civil não agredam o meio ambiente, cabe ao poder público incentivar o uso, regulamentar e fiscalizar a correta destinação desses resíduos.

2. Aspectos Legais e Técnicos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é uma das mais importantes legislações ambientais do Brasil. A União Europeia criou em 1975 as diretrizes para o Plano de Gestão de Resíduos Sólidos Europeu, esse plano inspirou a criação da PNRS [8].

A PNRS foi instituída pela Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. A Lei contém instrumentos para conter o avanço dos problemas sociais, ambientais e de saúde relacionados aos resíduos sólidos [9].

A política da Lei propõe a redução do consumo, a reciclagem, a reutilização ou a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (nos casos em que não seja possível a reutilização ou reciclagem) [9]. Dentre os mecanismos da Lei para conter os problemas causados pelos resíduos sólidos estão:

- responsabilidade compartilhada dos geradores dos resíduos;
- metas para eliminação de lixões;
- criação de instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, metropolitano e municipal;
- criação de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos pelos particulares; dentre outros [9].

Mesmo dez anos depois da criação da Lei, a problemática dos resíduos sólidos ainda não havia melhorado no país. Em 2019, apenas 3% do lixo era reciclado, além disso, o país passou a produzir mais lixo, um aumento de 26% [10].

Segundo o IPEA, 50% a 70% desses resíduos são provenientes da construção civil [11]. O problema é agravado quando parte desse lixo é depositado em um dos 3 mil lixões ainda não desativados no Brasil. A PNRS estabeleceu como meta, extinguir os lixões até 2014, prazo esse que foi estendido até 2021 [12].

Além da PNRS, várias outras leis, decretos, resoluções, portarias e normas técnicas regulamentam e objetivam conter a

geração de resíduos da construção civil. O Quadro 1 mostra a evolução da legislação pertinente a geração de RCC na cidade do Rio de Janeiro:

Quadro 1 - Evolução da Legislação e Normatização relativas ao RCC na Cidade do Rio de Janeiro

Ano	Tipo	Descrição
2002	Resolução CONAMA Nº 307	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
2003	Lei Estadual Nº 4.191	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências.
	Norma Técnica COMLURB 42-40-01	Remoção de resíduos sólidos inertes (entulho de obras, poda de árvores e bens inservíveis).
2004	NBR ABNT 10.004	Resíduos sólidos (classificação).
	NBR ABNT 15.112	RCC e resíduos volumosos - áreas de transbordo e triagem (diretrizes para projetos, implantação e operação).
	NBR ABNT 15.113	RCC e resíduos inertes - aterros (diretrizes para projetos, implantação e operação).
	NBR ABNT 15.114	RCC - áreas para reciclagem (diretrizes para projetos, implantação e operação).
	NBR ABNT 15.115	Agregados reciclados de RCC - execução de camada de pavimentação (procedimentos).
	NBR ABNT 15.116	Agregados reciclados de RCC - utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural (requisitos).
2006	Lei Estadual Nº 4.829	Institui a Política de Reciclagem de Entulhos de Construção Civil e dá outras providências.
	Decreto Municipal Nº 27.078	Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e dá outras providências.
2008	Decreto Estadual Nº 41.122	Institui o plano diretor de gestão de resíduos sólidos da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.

	Lei Municipal Nº 4969	Dispõe sobre objetivos, instrumentos, princípios e diretrizes para a gestão integrada de resíduos sólidos no Município do Rio de Janeiro e dá outras providências.
2010	Lei Federal Nº 12.305	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências.
2011	Decreto Municipal Nº 33.971	Dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de agregados reciclados, oriundos de Resíduos da Construção Civil - RCC em obras e serviços de engenharia realizados pelo Município do Rio de Janeiro.
2015	Resolução SMAC Nº 604	Disciplina a apresentação de Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil - PGRCC.
	Norma Operacional NOP-INEA-27	Licenciamento das atividades de coleta e transporte rodoviário de resíduos da construção civil.
2016	Decreto Municipal Nº 42.605	Institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS da Cidade do Rio de Janeiro.
2019	PORTARIA “N” Nº 002 - COMLURB	Estabelece as diretrizes para o credenciamento de pessoas jurídicas que desejam prestar serviços de coleta e remoção de resíduos sólidos especiais na Cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Autor.

O Quadro 1 inclui a legislação e normas técnicas de maior importância com relação aos resíduos da construção civil. Essas incluem as legislações de âmbito estadual e municipal que regulamentam os resíduos no Estado e na Cidade do Rio de Janeiro, assim como portarias e normas da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB).

Dentre as de maior peso estão a Lei Federal Nº 12.305 e a Resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente

(CONAMA), que foram as bases para a elaboração das demais legislações e normas pertinentes.

Como as demais legislações estaduais e municipais, o Decreto Municipal nº 27.078, de 27 de setembro de 2006, também foi elaborado para complementar as exigências da PNRS. O Decreto institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil [13].

Dentre as ações do Plano estão: os ecopontos, serviço de atendimento para pequenos volumes e as áreas para recepção de grandes volumes. Os ecopontos são pontos de entregas para volumes de RCC com até 2 m³. Para até essa quantidade o cidadão pode ligar e pedir o recolhimento do RCC. As áreas para recepção de grandes volumes são também chamadas de Áreas de Transbordo, Triagem, Reciclagem e Reservação Temporária de Resíduos da Construção Civil (ATTRs) [13].

Uma outra exigência do Plano, a qual também consta na Resolução Nº 307 do CONAMA e na Lei Municipal Nº 4.969, de 03 de dezembro de 2008, é a de que os geradores de resíduos sólidos estejam sujeitos à elaboração de Planos de Gerenciamento Específicos, que no caso da construção civil são denominados Plano de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil (PGRCC) [13].

Segundo a Resolução Nº 307, de 05 de julho de 2002 do CONAMA, os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil devem contemplar as seguintes etapas:

I - Caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;

II - Triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta Resolução;

III - Acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de

reciclagem;

IV - Transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;

V - Destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução (p. 96) [14].

Além da Resolução Nº 307 da CONAMA, as Resoluções da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, SMAC Nº 604, de 23 de novembro de 2015 e SMAC Nº 605, de 26 de novembro de 2015, também regulamentam o PGRCC. A Resolução SMAC Nº 605 condiciona o licenciamento ambiental à apresentação do PGRCC, nos casos em que o licenciamento é exigido. Já a SMAC Nº 604 exige que o PGRCC deva ser elaborado de forma a privilegiar o aproveitamento do RCC no próprio local de geração ou em unidades de beneficiamento licenciadas [13].

O mesmo é exigido em obras públicas. O Decreto Municipal Nº 33.971 exige que sejam utilizados artefatos reciclados de RCC nas obras executadas direta ou indiretamente pela administração pública municipal [13].

Embora hoje a cidade do Rio de Janeiro tenha muitos mecanismos para a gestão de resíduos sólidos, não foi sempre assim. O Aterro Controlado de Gramacho já foi considerado o maior da América Latina e operou até 1996 sem obedecer às normas sanitárias e ambientais do país [13]. Cabe ressaltar que o Aterro Controlado de Gramacho é conhecido no Estado como Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho ou mesmo CTR Gramacho, sendo dessas formas referido no texto, no entanto, é fundamental deixar claro seu caráter “controlado”.

Até a desativação do Aterro Metropolitano Jardim Gramacho em 2012, os RCC eram depositados na Área de Transbordo e Triagem (ATT) das missões, no Bairro de Cordovil, Zona Norte do Rio de Janeiro [13].

Com a inauguração do CTR - Rio, em 2011, localizado em Seropédica - RJ, o CTR -

Gramacho foi finalmente desativado. Somente em 2014, a unidade recebeu 9.227 t/dia de lixo, sendo que 857 t/dia foram de grandes geradores, o que inclui os RCC [13].

Para efeitos da cidade do Rio de Janeiro, os grandes geradores são os que geram mais de 2 m³/semana. Esses geradores, caso não reutilizem o RCC na própria obra, devem contratar empresas licenciadas para o beneficiamento ou destinação final ambientalmente adequada [13].

Pequenas quantidades de entulho podem ser removidas acionando o Serviço de Remoção Gratuita da COMLURB. Para utilizar o serviço os resíduos devem estar acondicionados em sacos plásticos de 20 litros. O serviço pode ser utilizado para a remoção de até 150 sacos a cada 10 dias [13].

Ainda que a situação na Cidade do Rio seja satisfatória quanto a existência de legislação e normatização pertinente a Gestão de Resíduos Sólidos, nem todos os municípios do país estão se adequando bem a PNRS. Segundo a Confederação Nacional de Municípios (CNM), as principais dificuldades encontradas pelos municípios para a implementação são: falta de recursos técnicos e financeiros e negligência por parte dos outros autores responsáveis por implantar as políticas da Lei [15].

3. Definição

Considerando toda a discussão em torno do tema dos resíduos da construção civil, faz-se necessário saber sua definição e classificação. Definidos os RCC, pode-se entender melhor a sua origem, composição, impactos e formas de se atenuar esses impactos no meio ambiente. A Resolução N° 307 do CONAMA define resíduos da construção civil como:

[...] os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros,

argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (p. 95) [14].

A resolução, além da definição, ainda classifica o RCC em quatro classes, a saber:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;*
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;*
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;*

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (p. 95-96) [14].

De acordo com a resolução, os resíduos de Classe A deverão ser reutilizados ou reciclados como agregados. A diferença entre os dois termos está no processamento dos resíduos. A reutilização não submete os resíduos ao processamento, diferentemente da reciclagem, a qual submete os RCC a um processamento antes de sua reintrodução no processo construtivo [14].

A reutilização do RCC faz-se necessária na construção civil por essa ser uma fonte geradora de resíduos. Segundo a Resolução N° 307, os geradores também são responsáveis por mitigar os problemas por esses causados [14].

Entre as formas de conter a geração de resíduos estão a reutilização e a reciclagem, as quais podem ser feitas de diversas formas. Dentre elas estão o reaproveitamento no próprio canteiro, em usinas de beneficiamento móveis ou fixas, em usinas de reciclagem, na indústria cimentícia, siderúrgica e até mesmo na agricultura.

Reciclagem do RCC

Dentre as formas mais comuns de reutilização do RCC está a reciclagem. A primeira usina recicladora do país data de 1991. Criada pela Prefeitura Municipal de São Paulo em Itatinga, a usina tinha como propósito a produção de agregados para pavimentação [16].

Depois de São Paulo, as cidades de Londrina e Belo Horizonte criaram suas usinas em 1993 e 1994, respectivamente. Depois da Resolução N° 307 do CONAMA, o número de usinas cresceu rapidamente. Até 2002 havia 16 usinas de reciclagem, depois da resolução o número de usinas subiu para 47. Em 2015, segundo dados da ABRECON, o país já possuía 310 usinas de reciclagem de RDC instaladas [3,17].

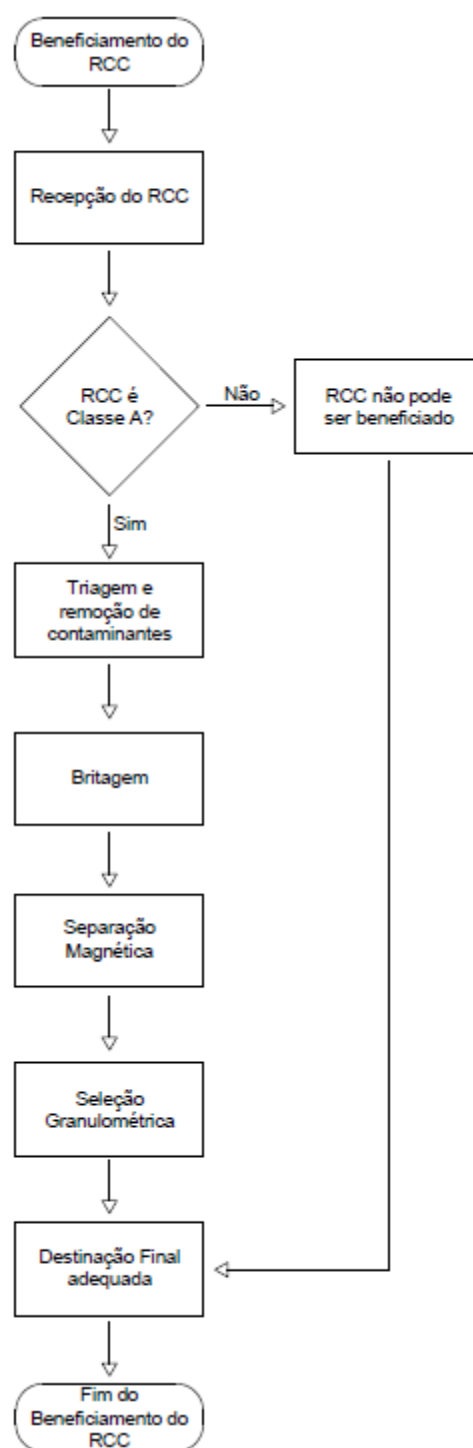
A reciclagem dos resíduos feita em usinas de beneficiamento de RCC utiliza técnicas similares as já utilizadas na mineração. Os processos para a produção do agregado reciclado são basicamente moagem e peneiramento [18].

Como observado na Figura 1, as etapas do processo de reciclagem são: recebimento do RCC, triagem, trituração, separação magnética, seleção granulométrica (areia, pedrisco, pedra, agregado) [18].

Para que o material não tenha impurezas é feito uma triagem com a remoção de material que não pode ser beneficiado nas usinas, esse material é encaminhado para a

destinação final adequada.

Figura 1 – Beneficiamento de RCC



Fonte: Autor.

Caso os materiais sejam da Classe B, estes podem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados para áreas de armazenamento temporário para depois serem reciclados.

Embora as usinas de RCC reciclem os resíduos de Classe A, existem outras usinas de reciclagem como as de papel, papelão, madeira, vidro, plástico ou metal, para as quais os materiais de Classe B podem ser encaminhados. Materiais de Classe C ou D devem ser armazenados, transportados e destinados de acordo com normas específicas [14].

Depois de removidas as impurezas do material, esse segue para a próxima etapa, a britagem. Antes da trituração o material é peneirado, de forma que partículas finas não cheguem ao britador. Nessa fase os grãos são reduzidos e tomam formas arredondadas [18].

Depois de triturado, o material é submetido à uma esteira magnetizada para que os contaminantes magnetizáveis sejam retirados [18]. Finalmente, o material é separado segundo as granulometrias observadas no Quadro 2:

Quadro 2 – Granulometria do RDC reciclado

	GRANULOMETRIA (M)
Areia	<0,0048
Pedrisco	0,0048<Ø<0,0095
Pedra	0,0095< Ø <0,0254
Agregado	>0,0254

Fonte: Adaptado de Freitas *et al.* (p. 102) [18].

O material separado segundo a granulometria é disposto em baías. Depois de beneficiado, o RCC segue para a armazenagem, uso ou comercialização [18]. A Figura 2 mostra uma usina de reaproveitamento de RCC:

Figura 2 – Usina de Reciclagem de RCC



Fonte: Freitas [4].

Como mostrado na Figura 2, a usina de reciclagem não é um empreendimento complexo de ser implantando, entretanto, tem que se levar em conta vários critérios antes de sua instalação. As usinas fixas devem ser instaladas o mais próximo possível dos geradores, em locais que possam ser acessados por veículos de grande porte e devem levar em conta a Lei de uso e ocupação do solo do município onde será instalada [17].

As usinas móveis, por sua vez, mostram-se de maior viabilidade, uma vez que podem ser transportadas até as obras. Essas, além de não dependerem da recepção de agregados de outros geradores para operar, não necessitam de grande quantidade de mão de obra [3]. A Figura 3 ilustra uma usina móvel:

Figura 3 – Usina de Reciclagem de RCC



Fonte: Freitas [4].

As usinas móveis facilitam o processo de reaproveitamento do RCC ao permitir que os resíduos sejam reciclados no próprio canteiro. Infelizmente nem todo resíduo é passível de ser reciclado nas usinas de RCC. Somente a Classe A é reciclada nas usinas, os demais resíduos são encaminhados para destinação final adequada [18]. A composição do RCC no Brasil é em sua maior parte de Classe A, dada a predileção do País pelo concreto. O Quadro 3 mostra a composição média do RCC no Brasil:

Quadro 3 - Composição média dos materiais de RCC de obras no Brasil (em %)

COMPONENTE	%
Argamassa	63
Concreto e blocos	29

Outros	7
Orgânicos	1
Total	100

Fonte: IPEA (p. 16) [11].

Aproximadamente 80% do RCC brasileiro é reciclável. Através de uma rápida análise do Quadro 3, pode-se facilmente concluir que a maior parte dos resíduos da construção civil é reciclável. Em Belo Horizonte, cidade que é exemplo de boa gestão dos resíduos sólidos, recicla-se 25% do resíduo de construção coletado ou 350 toneladas por dia [16].

Mesmo que essa quantidade de RCC reciclada por Belo Horizonte seja um bom exemplo para as demais cidades brasileiras, como já dito, o potencial de reciclagem do RCC é bem maior que isso. Países como Holanda, Bélgica e Dinamarca, reciclam entre 80% e 90% de todo o seu RCC. Sidney, na Austrália, recicla 80% dos seus resíduos da construção [16].

Como visto, o potencial de reciclagem do RCC brasileiro é alto. À medida que os estados e municípios criem dispositivos legais que regulamentem as leis já existentes sobre o RCC a tendência é que o número de usinas de reciclagem de RCC aumente. Ainda que não se possa reintroduzir todo o RCC na cadeia produtiva, é crucial focar nas formas de conter o avanço dos resíduos. Ao reduzir, reutilizar e reciclar os resíduos, evita-se que esses causem maiores danos sociais, ambientais e à saúde da população.

4. Aplicações do RCC reciclado

As formas de reaproveitamento do RCC são diversas. Vão desde o seu uso em canteiros de obras, argamassas, concretos, tijolos, pavimentação até a fabricação de cimento e adubo.

A forma mais sensata de reaproveitamento do RCC seria utilizando o mesmo já no canteiro de obras. Pinto [19] propõe a utilização de baías no canteiro, assim, os resíduos serão armazenados para

futura reutilização. Os resíduos como argamassa, alvenaria, concreto, resíduos cerâmicos e resíduos minerais (areia, pedra), podem ser triturados e reutilizados como agregado na própria obra.

Outra forma de aplicação do RCC é a sua aplicação em bases e sub-bases de pavimentação. Motta [16] afirma que a técnica já é realizada em diversos países há muitos anos. Uma vantagem dessa utilização é que esta técnica consome grande quantidade de resíduo.

No Brasil, a utilização de agregado reciclado na pavimentação foi utilizada pela primeira vez em 1984, na cidade de São Paulo. A Prefeitura Municipal de São Paulo em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) pavimentou a Rua Gervásio da Costa utilizando agregados reciclados de RCC [16].

Embora a utilização de agregado reciclado tenha sido feita desde essa época, só em 2004 foi criada uma normatização de nível nacional, a NBR 15.115. A norma versa sobre os procedimentos para o emprego de agregado reciclado em pavimentação [16].

Posteriormente, uma nova norma relativa ao uso do RCC foi criada. A NBR 15.116 foi concebida para estabelecer os requisitos na utilização dos agregados em camadas de pavimentação e para a preparação de concretos sem função estrutural [20].

O uso de agregados reciclados em argamassas é outra forma de aplicação dos RCC. Através de uma síntese de vários estudos sobre essa técnica, Oliveira [21] concluiu que esse tipo de argamassa exige mais água, em função da maior absorção de água pelos agregados reciclados, no entanto podem apresentar resultados melhores que argamassas feitas com agregado natural.

As argamassas estudadas apresentaram resistência à aderência, à tração e à compressão aceitáveis pelos limites das normas técnicas aplicáveis, muitas vezes até superando o desempenho das argamassas comuns [21].

Além das argamassas, as propriedades dos tijolos de solo-cimento fabricados com resíduos de construção também atendem as normas brasileiras. Ferraz e Segantini [22] concluíram que o tijolo de solo-cimento atende as normas brasileiras e é viável para ser produzido.

A utilização de resíduo de argamassa de cimento melhorou o comportamento mecânico dos tijolos solo-cimento, assim como também possibilitou uma economia no uso de cimento [22].

Castro et al. [23] estudou a possibilidade de adição mineral de pozolana na produção de cimento. O mineral foi obtido a partir de resíduos de cerâmica vermelha. O resultado foi um cimento que atendeu aos requisitos químicos e físicos das normas, assim como teve um desempenho mecânico superior ao dos cimentos atualmente comercializados.

Embora os exemplos anteriores de aplicações do RCC englobem somente resíduos de Classe A, o gesso, considerado de Classe B, é um resíduo que também pode ser reciclado e que apresenta aplicações úteis e interessantes. O gesso pode ser utilizado no cimento, como aditivo na produção de síter nas usinas siderúrgicas e até como adubo [24].

Na fabricação do cimento, o gesso pode ser adicionado para atuar como retardante de pega. Quando necessário, adiciona-se gesso na proporção de 5%. Ainda na indústria da construção, o gesso pode ser reincorporado em placas de drywall ou em outros artefatos de gesso. Além desses usos, o gesso ainda pode ser reaproveitado na agricultura como fertilizante ou na correção de solos [24].

Tendo em vista que a maior parte do RCC é de Classe A e que esta é reciclável, podemos afirmar que a indústria construtiva tem uma grande capacidade de reduzir seu impacto ambiental através da reutilização e reciclagem dos RCC.

5. Redução do impacto ambiental provocado pela reutilização do RCC

A Indústria da Construção Civil tem grande potencial de conter os impactos ambientais por ela causados, principalmente com relação aos impactos ocasionados pela geração dos resíduos da construção. A reciclagem do RCC evita que esses tenham destinação inadequada, diminui a extração de matéria-prima, além de ajudar na captação e armazenamento de CO₂.

A principal redução de impacto ambiental provocado pela reciclagem do RCC está no ato de evitar que esses sejam dispostos irregularmente. Muitos municípios ainda encaminham seus RCC para lixões [3]. Os resíduos depositados nos lixões e aterros rapidamente os lotam. Além disso, pequenos geradores dispõem RCC em vias, valas, cursos d'água e terrenos baldios, o que causa enchentes, assoreamentos, proliferação de vetores de doenças, enchentes e poluição visual. Reutilizá-los evita essas formas de disposição irregulares [16].

Outro meio de amenizar os impactos ambientais do RCC está na sua introdução na indústria cimentícia. Esta é uma grande consumidora de matéria-prima mineral. Alguns estudos, como o de Castro et al. e Galbenis e Tsimas [7,23], já citados neste estudo, discutem a fabricação de cimentos compostos de RCC. Um resíduo com composição mineralógica adequada ao cimento que se deseja produzir é adicionado durante o processo de fabricação.

Atualmente a indústria cimentícia utiliza o gesso na fabricação do cimento. Reaproveitar o gesso do RCC é uma outra forma de frear a extração de recursos naturais. Outra possibilidade da indústria construtiva, no geral, está na substituição dos agregados minerais por agregados reciclados, dessa forma, evita-se a extração de minerais nas jazidas.

A areia e a pedra britada são os agregados mais explorados no Brasil [16]. Em 2016 a produção de areia foi de 312 milhões de toneladas, já a produção de brita e cascalho estimada pelo consumo de cimento Portland e asfáltico foi de 236,4 milhões de toneladas [25].

O reaproveitamento dos RCC ainda traz outro benefício ao meio ambiente. Sua reintrodução no ciclo construtivo permite a captação de CO₂. Estima-se que 270 kg de CO₂ podem ser sequestrados se 1 tonelada de RCC for completamente carbonatada, entretanto, apenas 11 kg de CO₂ podem ser absorvidos por cada tonelada de agregado de concreto triturado. Kaliyavaradhan [26] pondera que estudos mais avançados sobre o tema precisam ser feitos, mas os resultados já indicam o potencial do RCC em captar CO₂.

Devido a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, a tendência é que a produção de agregados naturais diminua com o tempo. Essa substituição é incentivada por novos estudos, legislação e normatizações sobre o tema.

Em resumo, a indústria da construção tem diversas formas de reduzir as agressões ambientais provocadas pelo RCC, seja utilizando agregados reciclados, seja utilizando o RCC como aditivo mineral, seja na utilização dos resíduos para a captação de CO₂.

6. Considerações finais

A indústria da construção utiliza largamente o cimento e os agregados minerais. Durante as obras, um grande volume de resíduos com esses e outros componentes são gerados. A extração da matéria-prima, a energia gasta e a liberação de CO₂ para a fabricação do cimento causam um alto impacto ambiental. Além desses, tanto sua fabricação quanto a produção de agregados minerais e a geração de RCC também são atividades altamente nocivas ao meio ambiente. Com isso, há que se refletir e tomar medidas para que esses resíduos sejam reaproveitados sempre que possível para reduzir as agressões ao meio ambiente.

As alternativas de redução do impacto do RCC foram objeto desse estudo. Chegou-se à conclusão de que os RCC gerados no Brasil possuem alta capacidade de reaproveitamento, principalmente por sua composição, que é em sua maior parte de

Classe A e por que há diversas alternativas viáveis para isso. Os RCC podem ser reaproveitados no próprio canteiro de obras, passar por beneficiamento em usinas fixas ou móveis ou ser utilizado na indústria de adubos, cimentícia ou siderúrgica.

Para que se atinja um ótimo nível de reciclagem e reaproveitamento do RCC, como o de alguns países europeus, que chegam a reciclar até 80% do seu resíduo, é necessário que os RCCs sejam utilizados mais amplamente e mais usinas de beneficiamento sejam instaladas pelo país. A quantidade de usinas existentes no país é ínfima, principalmente se for considerado o grande volume de RCC gerados.

No que tange à contribuição da comunidade científica, ainda há muito para se pesquisar sobre o tal resíduo. Faltam mais estudos para abordar outras formas de utilização do RCC, como ele atende as normas técnicas ou como pode ser tratado para que atenda e como pode ser utilizado para reduzir ainda mais os impactos causados por sua geração, a saber: a utilização de agregados reciclados para a captação de CO₂.

Ressalta-se a importância de políticas públicas municipais voltadas ao reaproveitamento, de modo a incentivar os pequenos e grandes geradores.

7. Referências

- [1] IEA. International Energy Agency *Cement Technology Roadmap 2009 – Carbon emissions reductions up to 2050*. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Cement.pdf>. Acesso em: 04 set. 2019.
- [2] CHAVES, W. A. C.; MORAIS V. S.; OLIVEIRA, P. C.; EVANGELISTA, W. L. *Análise de indústrias cimenteiras e seus impactos socioambientais*. VII Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG. 2014.

- [3] ABRECON. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção. *Pesquisa Setorial da Reciclagem de Resíduos da Construção 2014/2015*. 2015. Relatório 2. 26 p.
- [4] FREITAS, L. de. *Reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil no Brasil*. 2018. Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/1262733/2018/06/reaproveitamento-de-residuos-solidos-da-construcao-civil-no-brasil/>. Acesso em: 04 set. 2019.
- [5] BRASILEIRO, L.L.; MATOS J. M. E. *Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil*. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000200178&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 04 set. 2019.
- [6] ULSEN, C. *Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição*. 2011, 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [7] GALBENIS, C.; TSIMAS, S. *Use of construction and demolition wastes as raw materials in cement clinker production*. China Particuology, v. 4, n. 2, abril 2006.
- [8] EURECICLO. *Tudo o que você precisa saber sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*. Disponível em: <http://blog.eureciclo.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs/>. Acesso em: 21 ago. 2020.
- [9] BRASIL. *Lei Nº 12.305, 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 Diário Oficial da União, de 3 de agosto de 2010, s.I, p. 3.
- [10] JORNAL NACIONAL. *Nove anos após Lei de Resíduos Sólidos, coleta de lixo não melhora no Brasil*. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2019/08/05/nove-anos-apos-lei-de-residuos-solidos-coleta-de-lixo-nao-melhora-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 21 ago. 2020.
- [11] IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil. Relatório de Pesquisa*. Brasília, 2012.
- [12] AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. *Municípios relatam dificuldades para cumprir política de resíduos sólidos*. 2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/585798-municipios-relatam-dificuldades-para-cumprir-politica-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 24 ago. 2020.
- [13] PMRJ. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. PMGIRS*. Rio de Janeiro, 2015.
- [14] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002*. Brasília. Diário Oficial da União, de 17 de julho de 2002, seção I, p. 95-96.
- [15] CNM. Confederação Nacional de Municípios. *Política de Resíduos Sólidos completa nove anos e Municípios ainda têm dificuldades para executar lei*. 2019. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/politica-nacional-de-residuos-solidos-completa-nove-anos-e-municipios-ainda-tem-dificuldades-para-implementar-lei#:~:text=A%20falta%20de%20recurso%20financeiros,setor%20empresarial%2>

- [C%20sociedade%20e%20Munic%C3%A Dpios](#). Acesso em: 21 ago. 2020.
- [16] MOTTA, R. S. *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimento de baixo volume de tráfego*. 2005, 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- [17] BOHNENBERGER, J. C.; PIMENTA, J. F. de P.; ABREU, M. V. S.; COMINI, U. B.; CALIJURI, M. L.; MORAES, A. P. de; PEREIRA, I. S. *Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério*. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 299-311, Mar. 2018.
- [18] FREITA, C. L. V. e; SANTOS, V. M. L. dos; SANTOS JÚNIOR, J. E. dos; SILVA, T. C. C. da. *Reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD): um estudo de caso na usina de beneficiamento de resíduos de Petrolina-PE*. Revista de Gestão Social e Ambiental. São Paulo, v. 10, n. 1, p. 93-109, jan. 2016.
- [19] PINTO, T. P. *Reciclagem no canteiro de obras – responsabilidade ambiental e redução de custos*. Revista Técnica. n. 49, p.64-68. nov/dez 2000.
- [20] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2004.
- [21] OLIVEIRA, B. T. *Uso de resíduos de construção e demolição em argamassas para revestimento de alvenaria*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). UFRJ, Rio de Janeiro, 2015. 68 f.
- [22] FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. *Engenharia sustentável: aproveitamento de resíduos de construção na composição de tijolos de solo-cimento*. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 5, 2004, Campinas.
- [23] CASTRO, A. L., SANTOS, R. F. C., GONÇALVES, K. M.; QUARCIONI, V. A. *Caracterização de cimentos compostos com resíduo da indústria de cerâmica vermelha*. Cerâmica. São Paulo, v. 63, n. 365, p. 65-76, mar. 2017. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132017000100065&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 10 set. 2020.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. *Resíduos de Gesso na Construção Civil - Coleta, armazenagem e reciclagem*. São Paulo, jul. 2012. Disponível em: <https://www.sinduscondf.org.br/portal/arquivos/ResiduosdeGessonaConstrucaoCivil.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.
- [25] BRASIL. Agência Nacional de Mineração (ANM). *Sumário Mineral 2017*. Brasília, v. 37, 2019.
- [26] KALIYAVARADHAN, S.K.; LING, T.C. *Potential of CO₂ sequestration through construction and demolition (C&D) waste – An overview*. Journal of CO₂ Utilization. p. 234-242. Jun. 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221298201730207X>. Acesso em: 10 set. 2020.