

Desastres como oportunidade de implementação de políticas de gerenciamento de resíduos de construção e demolição no Brasil: chuvas de Nova Friburgo (RJ), 2011

Disasters as an opportunity to implement policies on construction and demolition waste management in Brazil – floods of Nova Friburgo (RJ) – 2011

Fabio Scatolini^{1*} , Renata Albergaria de Mello Bandeira¹

RESUMO

Desastres naturais envolvem, com frequência, múltiplos esforços nas fases de resposta e resiliência. Um dos desafios que surgem nessas ocasiões é o de reaproveitar detritos – na sua maioria compostos por resíduos sólidos de baixo nível de contaminação, mas de pouco interesse comercial, devido às dificuldades envolvidas no seu recolhimento e segregação. Este artigo busca mostrar que tal tarefa pode contribuir beneficentemente para a logística humanitária (LH) em países que já tenham uma regulamentação em vigor quanto ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição (RCD). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil é apresentada e comentada, bem como as principais normas e tecnologias para o tratamento de RCD, existentes há duas décadas, mas que apenas recentemente vêm sendo oferecidas por meio de máquinas menores em tamanho, escala de processamento e consumo de energia, permitindo o tratamento desses resíduos também em situações emergenciais. A seguir, mostra-se como a ocorrência de um desastre pode auxiliar cidades atingidas a se adequarem mais rapidamente à regulamentação enquanto gera, a partir dos detritos, subprodutos de maior valor agregado, com potencial de utilização no esforço de reconstrução tanto de obras públicas quanto privadas. Utilizou-se como estudo de caso o evento de chuvas em excesso ocorrido na cidade de Nova Friburgo, nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. Conclui-se que uma grande oportunidade está sendo desperdiçada, também para se diminuir o *stress* pós-traumático, tanto pelas comunidades atingidas como por quem planeja ou executa ações de resposta e resiliência pós-desastres naturais.

Palavras-chave: meio ambiente; resíduos sólidos; construção e demolição; logística humanitária; Rio de Janeiro; reciclagem.

ABSTRACT

Natural disasters often involve work from multiple efforts in both response and resilience phases. One of the challenges that arise on those occasions is recycling the debris – mostly composed of low contamination solid wastes, but offering little commercial interest, due to the difficulties involved in their collection and segregation. This paper aims to show that this task can contribute beneficially to Humanitarian Logistics (HL) in countries that already have regulations in place regarding the management of construction and demolition waste (CDW). The National Solid Waste Policy (*Política Nacional de Resíduos Sólidos* - PNRS) in Brazil is presented and commented on, as well as the main standards and technologies for CDW treatment, which have existed for two decades, but which have only recently been offered through equipment smaller in size, processing scale, and energy consumption, allowing the treatment of these wastes also in emergency situations. Then it is showed how disasters can help stricken cities to take some advantage to adapt themselves more quickly to regulation, while generating from the waste by-products of higher added value, with potential to be used in the reconstruction effort of both public and private constructions. The event of excessive rains occurred in the city of Nova Friburgo, on January 11th and 12th, 2011, was used as a case study. It is concluded that a great opportunity is being wasted, also to reduce post-traumatic stress, by both affected population and those who plan or carry out post-disaster response and resilience actions.

Keywords: environment; solid waste; construction and demolition waste; humanitarian logistics; Rio de Janeiro; recycling.

¹Departamento de Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

*Autor correspondente: fabio.scatolini@gmail.com

Recebido: 18/07/2018 - Aceito: 07/08/2019 - Reg. ABES: 20180053

INTRODUÇÃO

Desastres são eventos calamitosos que, quando ocorrem, causam danos econômicos e provocam forte alteração na rotina social de uma comunidade, que requer assistência externa e interação de diferentes instituições para oferecer alívio à sociedade afetada (PERRY; QUARANTELLI, 2005; LETTIERI; MARSELLA; RADAELLI, 2009). Os desastres são analisados ou estudados em diferentes estágios, que compreendem um ciclo de mitigação-preparação-resposta-reconstrução (ALTAY; GREEN, 2006).

É comum que desastres gerem grandes quantidades de escombros e detritos. Segundo Crowley (2017), o volume de escombros e detritos após um desastre costuma ser de cinco a dez vezes superior ao volume anual de resíduos sólidos gerado pela comunidade afetada. Desse modo, são inúmeros os desafios ao seu processamento e descarte (KIM; DESHMUKH; HASTAK, 2018). Nas fases de resposta e reconstrução, é comum a necessidade de movimentar uma grande quantidade de escombros ou detritos, tanto para facilitar as ações de busca e salvamento quanto para desobstruir vias e executar as demais ações de resposta, como a entrada de suprimentos médicos, comida, água potável bem como a remoção das vítimas em situação de maior risco à saúde. Assim, atrasos na remoção desses escombros podem levar a atrasos em todo o processo de resposta ao desastre. Além dos desafios operacionais associados à remoção de escombros e detritos após um desastre, há também o risco ambiental associado. Os detritos e escombros podem ocupar uma grande área, gerando prejuízos ambientais e para a saúde dos moradores da comunidade afetada. Por exemplo, resíduos de construção e demolição (RCD) podem apresentar produtos químicos, que podem ser dissolvidos pela água e levar à contaminação dos reservatórios hídricos (HU; SHEU, 2013).

Chuvas sazonais intensas são a principal causa de desastres na Região Sudeste do Brasil, onde vive metade da sua população. Os escombros resultantes desses eventos são uma mistura de solo, com RCD, além de vegetação e outras matérias orgânicas em menor volume que, em um primeiro momento, não despertam interesse em reaproveitamento. De fato, em muitos países em desenvolvimento, não há ações de gerenciamento de resíduos sólidos decorrentes de desastres naturais, indicando que esse assunto tem baixa prioridade (BROWN; MILKE; SEVILLE, 2011). Fetter e Rakes (2012) ressaltam ainda a pouca disponibilidade de pesquisas sobre o potencial econômico de reaproveitamento dos detritos e escombros, bem como descrevem mudanças recentes que o governo norte-americano passou a adotar, por meio de sua agência federal para gerenciamento de desastres (Federal Emergency Management Agency — FEMA).

O interesse em reaproveitar esses resíduos sólidos é baixo devido à ausência de estruturas organizadas para esse fim no gerenciamento de desastres, bem como à ausência de políticas ambientais que contemplem esse tipo de resíduo, caracterizado por baixo potencial de

contaminação e difícil segregação (BROWN; MILKE; SEVILLE, 2011). Porém, quando se aprofunda a compreensão do potencial de reciclagem de RCD, essa questão pode influenciar positivamente as atividades pós-desastres, uma vez que pode contribuir também para a redução de riscos de novos desastres (SENEVIRATNE; BALDRY; PATHIRAGE, 2010). O Brasil, particularmente, vem, na última década, aperfeiçoando técnicas de segregação e reciclagem de RCD, por força de regulamentação recentemente aprovada em nível nacional. Portanto, este artigo busca contribuir no sentido de mostrar que essas duas questões podem se relacionar de forma benéfica — ações de gerenciamento e de tratamento de resíduos podem, desde a ocorrência de um desastre, auxiliar nas obras de reconstrução demandadas, melhorando a posterior adequação das cidades atingidas à políticas ou práticas ambientais recomendáveis, quer elas estejam previstas em lei ou não.

A seção seguinte apresenta como o problema do acúmulo de resíduos sólidos resultantes de ações de logística humanitária (LH) é enfrentado em países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) sujeitos a desastres. Depois, descrevem-se a experiência brasileira e a evolução da regulamentação sobre reciclagem de RCD, atualmente incluída na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A seção “Materiais e métodos” apresenta as duas dificuldades envolvidas na tomada de decisões que se relacionam com a reciclagem de RCD produzidos por desastres — sua quantificação e composição média, sendo proposto um procedimento para realizar essa estimativa. Na seção “Estudo de caso” aplicam-se os procedimentos propostos ao episódio tomado como base para a pesquisa — a enchente e os deslizamentos ocorridos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, na sua cidade mais atingida, Nova Friburgo, além de trazer a análise dos resultados obtidos. E a última seção apresenta as conclusões do estudo.

EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL EM GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORIGINADOS DE OPERAÇÕES EM LOGÍSTICA HUMANITÁRIA

São poucos os países que desenvolveram individualmente políticas ou regulamentações específicas para gerenciamento de resíduos sólidos produzidos por desastres. No grupo de países da OCDE, terremotos são os eventos mais frequentes. Enchentes decorrentes de chuvas intensas são eventos mais previsíveis, assim como ciclones tropicais e tornados. Nos Estados Unidos, a preocupação com a reciclagem de destroços começou a se manifestar somente após o ano 2000. A FEMA publicou, em conjunto com a Agência de Proteção Ambiental (do inglês, Environmental Protection Agency — EPA), um manual de procedimentos dedicado ao problema (FEMA-USA, 2008), criando um sistema nacional de gerenciamento de incidentes (NIMS) para registrar as ações tomadas nos três

níveis de governo (local, estadual e federal). Quanto ao gerenciamento de resíduos e escombros, o documento determina que a reciclagem deva, obrigatoriamente, fazer parte dos documentos de planejamento para desastres, mas limita a responsabilidade federal, inicialmente, à remoção apenas do que obstrui os fluxos de transporte e ao que se restringe aos prédios públicos sob risco de saúde e segurança.

O Japão parece ser o melhor exemplo a ser seguido quanto às práticas relacionadas à gestão de resíduos sólidos produzidos por desastres. O Ministério do Meio Ambiente japonês determina que esse trabalho seja de responsabilidade das municipalidades. Não há a necessidade de regulamentação específica, porque a falta de espaço físico para deposição final obriga o poder público e as autoridades locais a iniciarem em pouco tempo o trabalho de segregação e encaminhamento à reciclagem de resíduos, ao mesmo tempo em que eles vão sendo acumulados em pequenas áreas temporárias (*ad-hoc waste yards*). Como a cultura da reciclagem já se encontra sedimentada na sua população, tudo é encaminhado rapidamente para estruturas maiores de reciclagem já existentes (GOVERNO DO JAPÃO, 2018).

Na Austrália, ao contrário do Japão, a população é menor e o espaço disponível para a construção de aterros sanitários ou áreas de deposição final é maior. Além disso, grande parte do resíduo sólido reciclável nas cidades ao norte do país era exportada para a China depois de segregada, situação que cessou em janeiro de 2018 (CUTHBERTSON, 2018) e que vem preocupando, de forma geral, a população e as autoridades. Em setembro de 2015, o governo da Austrália do Sul publicou o relatório final de um estudo específico (*Zero Waste Program*) para o Programa Nacional de Resiliência a Desastres (GOVERNMENT OF SOUTH AUSTRALIA, 2015). O estudo conclui que, apesar de experimentar frequentes ocorrências de enchentes, tempestades, terremotos e incêndios florestais, até o momento, pouco trabalho tem sido despendido em planejamento de contingências para gerenciar resíduos sólidos na Austrália. Na Nova Zelândia ocorre situação semelhante. Mesmo com seu território estando sujeito a terremotos, faltam instalações para processamento bem como comunicação e coordenação entre as entidades envolvidas (DOMINGO; LUO, 2017).

O país europeu que mais registra desastres é a Itália, que ainda não desenvolveu um protocolo específico para lidar com RCD após desastres (GABRIELLI *et al.*, 2018). Na Itália, bem como nos demais países da União Europeia, deve ser elaborado e cumprido um plano para o gerenciamento de resíduos sólidos em geral, conforme estabelecido no *Waste Framework Directive*. No início de 2018, o Portal de Meio Ambiente da Comissão Europeia não apresentou nenhuma indicação em particular para resíduos oriundos de desastres, mas o bloco promoveu e conduziu um estudo sobre RCD de forma geral (UNIÃO EUROPEIA, 2018). Em 2011, foi disponibilizado um resumo do nível de reciclagem de RCD de cada Estado-membro, apresentado na Figura 1. Observa-se que apenas 11 dos 27 países-membros reciclam alguma parcela de seus

RCD. Apenas cinco países — Reino Unido (UK), Polônia (PL), Irlanda (IE), República Tcheca (CZ) e Espanha (ES) — declararam índices de reciclagem de RCD superiores a 20%.

Na América Latina, México (desde 2002) (GOVERNO DO MÉXICO, 2003) e Chile (desde 2005) (CHILE, 2016) são os países que mais registram desastres (principalmente terremotos) e também foram os primeiros a publicar regulamentação sobre resíduos sólidos de forma geral em nível nacional, mas sem abordar de forma particular a questão do resíduo produzido por desastres. Entretanto, a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) oferece um material de orientação interessante e abrangente sobre o tema (OMS; OPAS, 2003a; 2003b), incluindo os RCD. É uma documentação que pode e deveria ser observada por todos os países americanos, principalmente aqueles que ainda não têm estabelecida uma política de gerenciamento de resíduos sólidos. Entretanto, embora o guia contenha orientação técnica sobre como proceder em relação a resíduos e escombros após desastres, ele não aborda a questão da atribuição das responsabilidades das partes envolvidas.

Recentemente, a Organização das Nações Unidas também vem demonstrando interesse em gerenciamento de resíduos em desastres e publicou um material de orientação específico (UN-OCHA, 2013), em trabalho conjunto com a Defesa Civil Suíça e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Entretanto, na parte dedicada a resíduos de construção e demolição (RDC), pouca orientação sobre reciclagem é fornecida e, mesmo assim, fora das fases de resposta e resiliência.

EXPERIÊNCIA BRASILEIRA EM GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A necessidade de discutir e regulamentar o tratamento de resíduos sólidos relacionados a desastres naturais no Brasil começou a ser discutida na década de 1990, após grandes prejuízos materiais terem sido registrados no estado do Rio de Janeiro, no verão de 1988. Em 19 de fevereiro daquele ano, fortes chuvas provocaram 273 mortes no estado, sendo 78 na capital (cidade do Rio de Janeiro) (JORNAL DO BRASIL, 1988). O evento mais grave e conhecido dessa época aconteceu no Bairro de Santa Teresa, onde toneladas de terra e pedra rolaram sobre a Clínica Santa Genoveva, soterrando cerca de 40 pessoas, entre pacientes e funcionários. Após esse episódio, o governo federal publicou a primeira norma relativa ao assunto, abordando o tratamento de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos (BRASIL, 1991).

No Brasil, RCD são os produzidos em maior quantidade por enchentes e deslizamentos. Porém, as ferramentas legais para lidar com esse tipo de resíduo, no âmbito nacional e de forma generalizada,

são recentes. Até 2002, o poder público não fiscalizava os entes geradores, na sua grande maioria empresas de construção civil, e ele foi o último dos resíduos sólidos a ser reconhecido como poluente e regulado quanto ao seu impacto ambiental. Todo o resíduo gerado dessa natureza era, até então, descartado sem tratamento em lixões e aterros sanitários. Contudo, naquele ano, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou a Resolução nº 307 (BRASIL, 2002), cujo principal avanço foi o estabelecimento de quatro categorias para classificar RCD:

- Classe A: reutilizáveis ou recicláveis como agregado (alvenaria, material cerâmico, concreto, argamassa, solo, etc);
- Classe B: recicláveis em outras destinações (plástico, papel/papelão, vidro, madeira, alumínio, metais, etc);
- Classe C: resíduos para os quais não se conhece tecnologias economicamente viáveis de aproveitamento (gesso, amianto);
- Classe D: resíduos perigosos (tintas, solventes, óleos, material radioativo, material tóxico, material infectocontagioso, etc).

Após esse marco inicial, o setor privado e as universidades públicas brasileiras iniciaram estudos e discussões na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Em 2004, foram publicadas cinco normas que objetivaram estabelecer procedimentos e uso de técnicas para lidar com RDC. Três delas — NBR 15.112, NBR 15.113 e NBR 15.114 — estão relacionadas ao manejo de resíduos (ABNT, 2004a; 2004b; 2004c) e duas — NBR 15.115 e NBR 15.116 —, ao uso de agregados reciclados de RCD (ABNT, 2004d; 2004e). Também em 2004, o CONAMA publica a Resolução nº 348 (BRASIL, 2004), modificando a classificação dos resíduos de amianto de “C” para “D”, devido ao seu alto potencial de danos ao trato respiratório em pessoas e animais.

Em 2010, os RDC passaram a fazer parte de algo maior e de caráter mais duradouro, a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010b), que estabelece a PNRS. Trata-se de um documento que reúne orientação sobre todas as categorias de resíduos sólidos, antes contemplados em documentos separados. No mesmo ano, regulamentando a Lei nº 12.305, também foi publicado o Decreto nº 7.404 (BRASIL, 2010a) que estabeleceu,

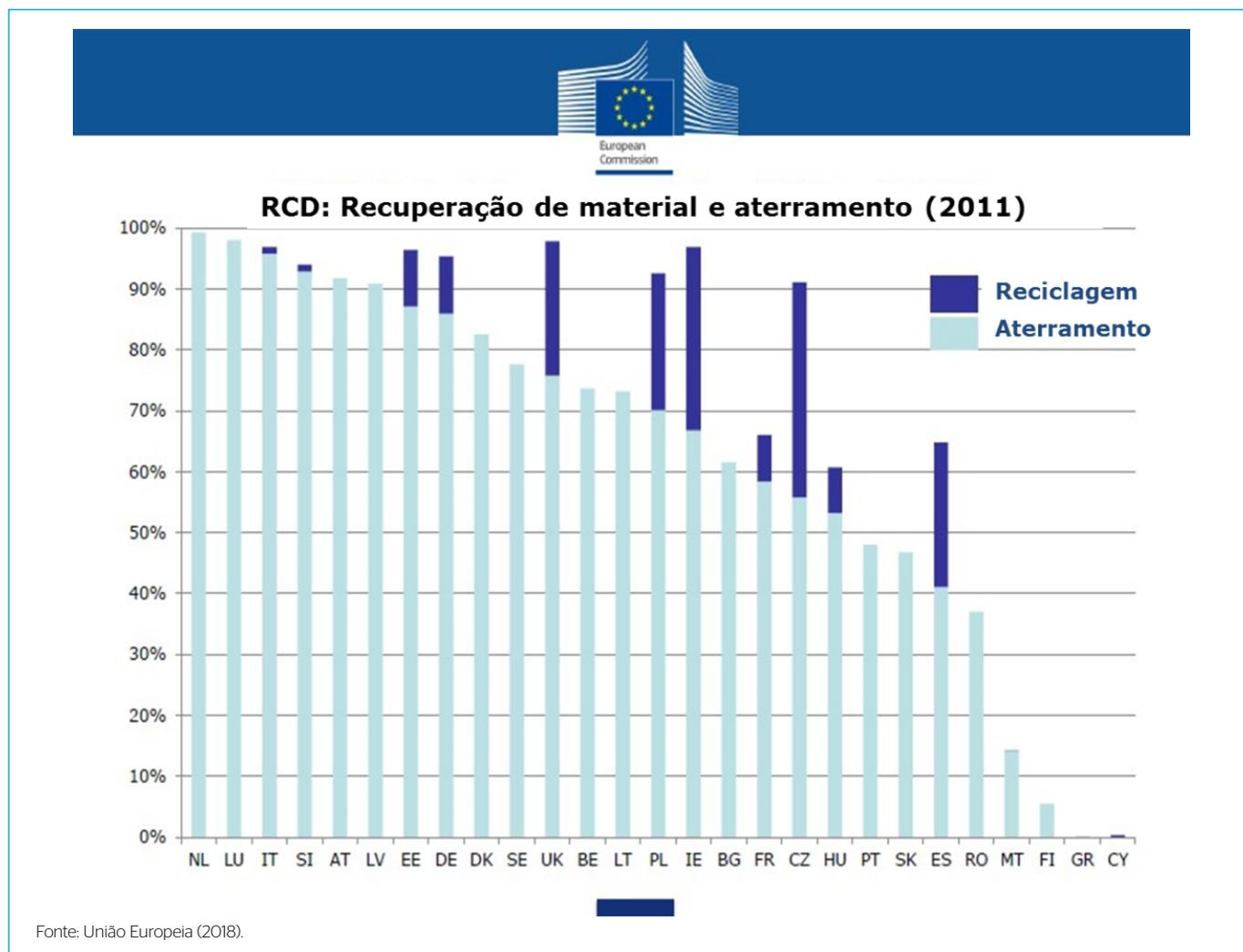


Figura 1 - Percentual médio de reciclagem de resíduos de construção e demolição em países da União Europeia.

dentre outras determinações, ajuda financeira a municípios que se dispusessem a apresentar seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos dentro do prazo estabelecido.

A Lei nº 12.305, de 2010, determinou inicialmente um prazo de dois anos para a elaboração dos planos de resíduos sólidos, antes que eles se tornassem obrigatórios e para que os poderes locais pudessem receber recursos da União. O prazo para que todas as cidades brasileiras entregassem seus planos de gestão individual ou regional de resíduos sólidos (por meio de consórcio envolvendo mais de uma cidade) se encerrou em 2013. A Tabela 1 apresenta um resumo da evolução da regulamentação brasileira.

As cidades brasileiras devem elaborar e executar ações para o gerenciamento de RCD de suas competências, dentro de um documento de planejamento que também preveja uma rede de coleta, composta por locais de recebimento em ordem crescente de complexidade — pontos de entrega voluntária (PEV), áreas de transbordo e triagem (ATT) e aterros de RCD, em que deve ser realizado o processamento final visando o reaproveitamento e a reciclagem, além de abrigar as instalações que manufaturam produtos derivados. Para facilitar a compreensão desse processo pelas administrações municipais, o Ministério do Meio Ambiente elaborou e publicou um manual que visa orientar as administrações municipais de forma mais direta (BRASIL, 2008). Os aterros de RCD recebem somente os resíduos de Classe A, devendo ser concebidos e operados como aterros para reserva de material para uso futuro.

A NBR 15.112 (ABNT, 2004a) estabelece condições de implantação, projeto e operação de “áreas de transbordo e triagem”. Com tamanho médio entre 400 e 500 m² (sem máquinas de segregação) ou de 1.200 m² (com máquinas de segregação), são concebidas com o objetivo de receber e processar pequenas quantidades de RCD — até 1 m³ por entrega, por dia, gratuitamente. A localização dessas áreas deve ser estabelecida dentro do projeto de uma “bacia de captação” de RCD,

na parte mais baixa da região atendida, e levar em consideração que a maioria dos logradouros atendidos esteja a até 2.500 m de distância, para que se permita ao máximo a entrega voluntária do resíduo sem a necessidade utilizar meios motorizados (BRASIL, 2008).

Para cidades de população pequena, a PNRS orienta a formação de redes de coleta e reciclagem de RCD por meio de consórcios, envolvendo mais de um município, de forma a minimizar custos de aquisição (ou arrendamento) e operação dos equipamentos necessários. A Tabela 2 apresenta uma aproximação da quantidade de instalações que uma rede de RCD deve ter, para que prefeituras consigam planejar melhor suas respectivas redes de captação de resíduos sólidos, ajudando a definir se a melhor solução será a implantação de uma rede própria ou compartilhada com outras cidades (em consórcio) (BRASIL, 2008).

Após o recebimento, a ATT deve realizar a primeira triagem dos RCD, de forma que os resíduos Classe A sejam encaminhados para as usinas de reciclagem, definidas e descritas na NBR 15.114 (ABNT, 2004c). Recomenda-se que a ATT tenha equipamento para lidar com grandes volumes e que segregue o RCD em cinco subprodutos de agregados básicos, para fins de reutilização (areia, brita, bica corrida, pedrisco e rachão). A NBR 15.115 e a NBR 15.116 (ABNT, 2004d; 2004e) orientam quanto à forma de utilização desse material em obras de pavimentação e demais aplicações sem função estrutural (BRASIL, 2008).

Quanto aos demais resíduos sólidos, os de Classe B são encaminhados para centros de reciclagem convencionais, operados, na sua grande maioria, por cooperativas de catadores. Os de Classe C, definidos e descritos na NBR 15.113 (ABNT, 2004b), são transferidos para destinação específica e, finalmente, os de Classe D deverão ser transportados para instalações de tratamento, recuperação/reciclagem ou aterro de resíduos perigosos, dependendo de cada natureza. Soluções consorciadas para essas destinações finais também estão previstas na regulamentação, com uso compartilhado de aterros sanitários por mais de uma cidade.

Tabela 1 - Evolução da regulamentação sobre resíduos de construção e demolição no Brasil.

Data	Instrumento	Características
Até 2002	Nenhuma regulamentação	Pequenas iniciativas bem-sucedidas registradas na década de 1990
05/07/2002	Resolução CONAMA #307	Estabelece 4 classificações de resíduos sólidos Pede à sociedade civil o desenvolvimento de normas técnicas para tratamento de RCD
2004	Normas técnicas ABNT NBR 15.112, 15.113, 15.114, 15.115 e 15.116	Orientam quanto ao manejo, gerenciamento, reciclagem e uso de agregados de RCD. Estabelecem diretrizes para a organização de pontos de entrega voluntária e demais estruturas que devem compor uma rede de coleta de RCD.
16/08/2004	Resolução CONAMA #348	Modifica a classificação do resíduo de amianto, aumentando o seu grau de risco
02/08/2010	Lei Federal #12.305	Estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que inclui a questão do RCD, não contemplada na regulamentação anterior (Lei Federal #9.605, de 12 de fevereiro de 1998)
23/12/2010	Decreto Presidencial #7.474	Regulamenta a Lei Federal #12.305 e estabelece prazo de 2 anos para Estados e Municípios apresentarem seus planos de resíduos sólidos
24/05/2011	Resolução CONAMA #431	Modifica a classificação do resíduo de gesso, reconhecendo os avanços na tecnologia de reciclagem

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente; ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR: norma brasileira; RCD: resíduos de construção e demolição.

Embora registros históricos de regulamentação da Defesa Civil Brasileira mencionem o tema desde 1943, não há, até o momento, referências específicas sobre possíveis resíduos decorrentes das ações de LH e, conseqüentemente, não há enquadramento formal para eles (BARBOZA; REZENDE, 2015). O atual manual de resposta a desastres (BRASIL, 2017), elaborado com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), em conjunto com a OEA e ainda em vigor, também não faz menção ao assunto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Estimar ou calcular a quantidade de resíduos produzidos por desastres naturais se apresenta como uma dificuldade, independentemente de onde se dá a ocorrência. Brown, Milke e Seville (2011) consideram essa tarefa a mais desafiadora dentre os *gaps* técnicos de pesquisa em LH, juntamente com os decorrentes aspectos econômicos e sociais, ainda pouco explorados. Outro fato que dificulta a tarefa é que a composição do resíduo varia muito em função do lugar, cujas características, por sua vez, trazem conseqüências diretas a todo o planejamento de ações de resposta.

Na França, o CEPRI (*Centre Européen de Prévention du Risque d'Inundation*) desenvolveu uma metodologia, que também é adotada pelos EUA, capaz de quantificar mobiliário, equipamentos eletroeletrônicos, resíduos de construção e veículos oriundos de inundações (DENOT, 2016). Entretanto, nos EUA, no Canadá, no Japão e na maioria dos países europeus, os materiais utilizados nas edificações são mais leves

e com possibilidades de reutilização mais sedimentadas no cotidiano da população, como madeira, alumínio, estruturas metálicas, borracha sintética e gesso acartonado (*drywall*). São materiais com ciclo de vida longo e que, quando danificados, tendem a ser utilizados como combustível para a produção de calor ou energia elétrica (CARPENTER *et al.*, 2013). Não se apresentam muito misturados ao solo deslocado e podem apresentar algum grau de contaminação por metais pesados, que precisam ser periodicamente avaliados quanto ao respectivo risco, mesmo que se conclua pequeno (TOWNSEND *et al.*, 2004).

Existem pesquisas no sentido de automatizar o trabalho, utilizando *drones*, como o desenvolvido por Labiak *et al.* (2011) e testado em Porto Príncipe, Haiti, mas com resultados ainda limitados. Tais métodos dependem da existência de bancos de dados digitalizados difíceis de serem encontrados em países menos desenvolvidos. Mas, ainda que seja possível o desenvolvimento de metodologias diretas para determinar volume e composição de RCD, a composição dos resíduos pode variar muito de um país para o outro, ou mesmo em regiões distintas dentro de um mesmo país. Portanto, cada país deve desenvolver seus próprios métodos. Esse fato é, provavelmente, uma explicação para a ausência de regulamentação sobre gerenciamento de resíduos pós-desastres fora dos EUA. Quando o local onde ocorre o desastre pertence a uma nação que já dispõe de política eficiente de gerenciamento de resíduos de forma geral, como no Japão, o que se faz na ocorrência de um desastre é reforçar temporariamente os recursos que serão utilizados, para lidar com o aumento pontual da demanda por segregação e reciclagem.

Tabela 2 - Definição das instalações para manejo de resíduos de construção e demolição e volumosos, da responsabilidade pública, em municípios ou consórcios com dimensões típicas.

População aproximada	Resíduos em pequena quantidade	Resíduos de limpeza corretiva	Resíduos de obras públicas	Destinação de RCD Classe A	Quant. de instalações	Norma técnica
Entre 100.000 e 200.000	PEV	ATT	ATT	Aterro RCD	PEV-08	NBR 15.112
					ATT-02	NBR 15.112
					Aterro-02	NBR 15.113
Entre 75.000 e 100.000	PEV	ATT	ATT	Aterro RCD	PEV-04	NBR 15.112
					ATT-01	NBR 15.112
					Aterro-01	NBR 15.113
Entre 50.000 e 75.000	PEV	ATT	ATT	Aterro RCD	PEV-03	NBR 15.112
					ATT-01	NBR 15.112
					Aterro-01	NBR 15.113
Entre 25.000 e 50.000	PEV Central ou Simplificado			Aterro RCD	PEVC-01	NBR 15.112
					PEVS-01	NBR 15.112
					Aterro-01	NBR 15.113
Abaixo de 25.000	PEV Central			Aterro RCD	PEVC-01	NBR 15.112
					Aterro-01	NBR 15.113

RDC: resíduos de construção e demolição; PEV: ponto de entrega voluntária; ATT: área de transbordo e triagem; NBR: norma brasileira. Fonte: Brasil (2008).

Metodologias para estimar a quantidade potencial de escombros em terremotos (GARCIA-TORRES; KAHHAT; SANTA-CRUZ, 2017) tsunamis, furacões (LORCA *et al.*, 2017) ou outros tipos de desastres naturais não podem ser aplicadas em cidades brasileiras porque, além de tais eventos ocorrerem com muito menos frequência, as áreas de risco mais suscetíveis a deslizamentos ou enchentes decorrentes de chuvas, muitas vezes, estão mapeadas e pouco sujeitas a mudanças, quando as características de ocupação urbana não se modificam. Outro fator que dificulta uma estimativa indireta é o crescimento urbano desordenado, que não fornece registro preciso da quantidade de logradouros ou de pessoas potencialmente em risco. O Brasil gera registros demográficos e geográficos mais confiáveis somente em situações de recenseamento, que ocorrem a cada 10 anos. Por isso, é de fundamental importância o desenvolvimento de uma metodologia para estimar o volume de escombros e resíduos oriundos de desastre, bem como discutir de soluções para seu processamento, descarte e reciclagem, adaptadas para a realidade brasileira, tal como é proposto neste artigo e discutido no caso da enchente da Região Serrana Fluminense, em 2011, apresentado na próxima seção.

Procedimentos adotados na pesquisa quanto à estimativa de volume de escombros removidos

Quando ocorreu o evento escolhido como estudo de caso, a PNRS havia sido aprovada alguns meses antes do desastre. Por isso, não houve tempo para os municípios afetados aplicarem suas diretrizes e não foram registrados os volumes de solo e detritos depositados nas áreas selecionadas, conforme prevê a Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010b). Consequentemente, procedeu-se *de forma exploratória* para realizar a estimativa necessária a esta pesquisa, a partir de contatos realizados com profissionais da Defesa Civil, do Corpo de Bombeiros e do Exército Brasileiro que estiveram diretamente envolvidos nas ações de resposta às chuvas de 2011. O trabalho foi dividido em quatro fases, descritas a seguir:

- Obter dos entrevistados os locais indicados pela Prefeitura Municipal de Nova Friburgo destinados à deposição de terra deslizada mais

RCD; com o uso de ferramentas do Google Earth, recolher imagens tomadas da situação mais próxima do momento atual, bem como dos mais próximos da ocorrência do desastre e do final do trabalho de remoção dos resíduos;

- Estimar visualmente em cada local a área ocupada pelos resíduos depositados, usando as ferramentas de demarcação e cálculo de área do Google Earth. Calcular a estimativa de volume dos resíduos, tomando como premissa a capacidade de empilhamento do equipamento padrão utilizado, entre 2,5 e 3,0 m (valor obtido junto à Defesa Civil do Rio de Janeiro);
- Estimar a composição dos resíduos com base em estudos recentes realizados em cidades com características de construção semelhantes às do estudo de caso, conforme premissas descritas no próximo item;
- Avaliar os locais escolhidos pela prefeitura para deposição dos resíduos, sob a ótica da PNRS, com a intenção de determinar se eles podem ser considerados, após o desastre, como pontos de uma futura rede de coleta e manejo de RCD e demais resíduos sólidos.

Considerações sobre composição de resíduos de construção e demolição para o estudo de caso

Para realizar o procedimento “C”, adotou-se como referência a comparação feita pelo estudo de Lima e Silva (2014), resumido na Tabela 3, sobre inventários de RCD em diferentes épocas e regiões do país. Observa-se que em cidades da Região Sul a composição difere significativamente das cidades da Região Sudeste, onde se encontra Nova Friburgo. No geral, utiliza-se pouco material plástico em massa, limitado quase sempre às instalações elétricas e hidráulicas.

Entrevistas com os envolvidos diretamente nas ações de resposta e resiliência à época possibilitaram identificar que, partindo do que se observa dos resíduos após sua deposição, uma coloração vermelha predomina, sendo forte indício de que mais de 50% da composição do resíduo possa ser de argila ou terra deslizada pela infiltração das águas pluviais. A Defesa Civil do Rio de Janeiro estimou a presença de terra deslizada em um mínimo de 60% da composição, sendo 10% relacionados à matéria orgânica nela contida (vegetação), e os 40%

Tabela 3 - Comparação entre composição de resíduos de construção e demolição no Brasil.

Local e época	(1)Ribeirão Preto/SP 1997	(2)Ribeirão Preto/SP 1998	(3)Santo André/SP 2000	(4)Porto Alegre/RS 2001	(5)Salvador/BA 2001
Componente	Percentual em massa				
Concreto	21,1	14,6	44,0	15,2	53,0
Argamassa	37,4	46,2	28,0	28,0	Sem dados
Pedras	17,7	19,2	23,0	29,8	27,0
Cerâmicos	22,8	19,1	04,0	26,3	14,0
Outros	00,5	00,9	00,1	00,4	02,0
Plásticos	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	04,0

Fonte: Lima e Silva (2014).

restantes como RCD, oriundos basicamente de pequenas obras erguidas ao longo de anos nas encostas, para uso residencial pela população mais carente. Sua composição foi compreendida como uma média das colunas 1, 2 e 4 da Tabela 3, porque tais construções caracterizam-se pelo uso reduzido de concreto (somente nas fundações e lajes), comparativamente ao que apresentam as colunas 3 e 5.

Não foram considerados para este estudo os resíduos sólidos relacionados a móveis, eletrodomésticos, roupas e demais utensílios de residências ou instalações comerciais destruídas pelos deslizamentos porque a quantidade de terra deslizada superou em muito o volume ocupado pelas construções.

ESTUDO DE CASO

Breve relato do episódio

Nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, a cidade de Nova Friburgo (185.381 habitantes) (IBGE, 2017) e outras quatro cidades do estado do Rio de Janeiro sofreram o que se registra, até o momento, como o maior desastre natural ocorrido no Brasil, em termos de vítimas atingidas direta ou indiretamente (Petrópolis — 298.235, Teresópolis — 176.060, Bom Jardim — 26.566, Guapimirim — 57.921 e Cachoeiras de Macacu — 57.048, totalizando 615.830 habitantes em 2017). Nesses dois dias, choveu 166 mm — mais de 70% da média mensal (CENADE, 2014). Deslizamentos de terra bloquearam quase todas as suas vias de acesso e derrubaram centenas de lares construídos em encostas ocupadas de forma desordenada, sem fiscalização e com pouca infraestrutura quanto ao fornecimento de serviços básicos como energia e água potável. Grandes manchas verticais vermelhas surgiram em toda a região atingida e até alguns cursos d'água tiveram seus traçados modificados. A Figura 2 apresenta algumas imagens registradas pelo Exército Brasileiro, por meio de veículos aéreos não tripulados, na fase de resposta ao desastre.

O episódio foi um marco nas políticas nacionais de gestão de risco e desastres. Após essa ocorrência, iniciou-se um processo duradouro de fortalecimento das práticas de gestão e, principalmente, previsão de desastres naturais em todo o território nacional (BANDEIRA; CAMPOS, 2017).

Aplicação dos procedimentos propostos

Entrevistas com coordenadores da Defesa Civil Regional, na época, apuraram que os resíduos sólidos retirados não foram enviados para aterros sanitários. Foram selecionadas somente quatro áreas, indicadas pela prefeitura, cujas coordenadas geográficas de referência encontram-se na Tabela 4. A Figura 3 apresenta a localização das áreas em relação ao seu núcleo mais urbanizado da cidade. A Área 3 situa-se no espaço destinado e utilizado, hoje, pelo aterro sanitário que serve

à população e recebeu cerca de 10% do total de resíduos removidos. As Áreas 1 e 2, dentro no perímetro urbano, receberam, juntas, 90% dos resíduos gerados e a Área 4, embora tenha sido reservada, não chegou a ser utilizada.

Para os dois primeiros procedimentos da metodologia proposta, foi identificado que os dias mais próximos dos momentos inicial e final das fases de resposta e resiliência encontrados com a ferramenta Google Earth correspondem a uma semana e cinco meses após o desastre, respectivamente. A imagem relativa a cinco meses após o desastre foi a utilizada para o cálculo das estimativas de área ocupada pelos escombros e seu respectivo volume, porque é a disponibilizada pelo Google Earth que mais se aproxima da época em que o trabalho de remoção de detritos foi finalizado. A Figura 4 apresenta essa imagem nas quatro áreas para calcular as superfícies totais disponíveis de cada local e as respectivas áreas efetivamente ocupadas com escombros, descritas na Tabela 4.

Para o terceiro procedimento proposto, aplicaram-se as premissas apresentadas na Tabela 3, considerando que apenas na Área 1 o resíduo depositado permaneceu inerte até o momento. Portanto, a Tabela 5 resume a estimativa de composição dos escombros conforme as premissas descritas anteriormente, e somente para a Área 1 de deposição final, pois nas Áreas 2 e 3 o escombros foi reutilizado no próprio local. Conforme apresentado no final do capítulo anterior, foram desconsiderados os resíduos relacionados a móveis, eletrodomésticos, roupas e demais utensílios.

Quanto ao quarto procedimento proposto, observa-se que as Áreas 1 e 2 são potencialmente indicadas para a implementação tanto de ATT quanto de usinas de reciclagem de RCD, porque encontram-se às margens do principal eixo viário da cidade — a rodovia RJ-116. Ambas foram ocupadas parcialmente por resíduos ou escombros, e o espaço não utilizado acomodaria bem equipamentos para a instalação de uma usina de reciclagem, além de acumular grandes quantidades de material segregado.

Análise dos resultados

A partir do estabelecido na Tabela 2 e considerando que a população de Nova Friburgo está próxima de 200 mil habitantes, uma rede de coleta e reciclagem de RCD deve ser concebida, visando a instalação de oito PEVs, duas ATTs e dois aterros (linha 1 da Tabela 2).

As Áreas 1 e 2 têm, cada uma, mais de 30.000 m² de área total e foram ocupadas aproximadamente pela metade. O espaço não ocupado acomodaria bem uma usina de reciclagem de RCD, cuja área pode variar de 4.000 m² em empreendimentos de iniciativa privada a até 12.000 m² em empreendimentos públicos de grandes cidades, como Belo Horizonte (MG) (JADOVSKI; MASUERO, 2006). O relevo acidentado da cidade não favorece uma expansão urbana rápida e tampouco uma ocupação uniforme dos espaços disponíveis. O principal

eixo viário, onde se encontram as Áreas 1 e 2, está na parte mais baixa do relevo, o que facilita a chegada dos resíduos e pode, eventualmente, dispensar a implementação de áreas de transbordo e triagem, por causa do fácil acesso a elas.

O volume apurado de resíduos resultantes das consequências do episódio evidencia a importância da necessidade de sua reciclagem — entre 121.500 e 145.500 m³ nas Áreas 1, 2 e 3. Ele equivale, hoje, por

exemplo, a quase 10 anos de produção da primeira usina de reciclagem de RCD no Brasil, na cidade de Belo Horizonte (ABRECON, 2015). Mesmo que sua composição apresente mais argila e solo virgem do que o RCD tipicamente urbano, o trabalho de segregação inicial necessário (que envolve a separação de madeira, plástico e matéria orgânica) não impede a utilização das mesmas máquinas já existentes no mercado brasileiro. Mesmo na época do episódio e com a lei da



Figura 2 - Consequências imediatas das chuvas de 2011 em Nova Friburgo (RJ).

Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos na estimativa do volume de escombros recolhidos após as chuvas em Nova Friburgo, janeiro de 2011.

Informações obtidas	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Latitude de referência	-22,94842	-22, 235555	-22,263895	-22,242845
Longitude de referência	-42, 530097	-42,521385	-42,562936	-42,651209
Data da foto de referência	6 maio 2011	6 maio 2011	13 jun. 2011	6 maio 2011
Estimativas de área inicialmente disponível para deposição (m ²)	39.000	30.000	38.000	51.700
Área efetivamente ocupada (m ²)	20.500	13.000	15.000	Não detectado
Volume mínimo de escombros (m ³)	51.250	32.500	37.500	Não detectado
Volume máximo de escombros (m ³)	61.500	39.000	45.000	Não detectado
Destinação (com base em fotos mais atuais)	Nenhuma. O resíduo aparenta não ter sido processado ou removido desde a sua deposição.	Reutilizado no próprio local, como aterro para a construção de um campo de futebol.	Foi reaproveitado no próprio local para cobertura de camadas na área do aterro sanitário adjacente	Pouco volume depositado. Espalhado no próprio terreno, que aparentemente, segue sem utilização.

PNRS recém-promulgada, tecnologias nacionais já estavam disponíveis para reaproveitar esse tipo de resíduo de diversas formas em aplicações não estruturais.

Com a adição de cimento *portland* e areia nas quantidades corretas, o agregado fino pode também servir de matéria-prima para a construção de vários pré-moldados utilizados na construção de alvenarias



Figura 3 - Localização das áreas destinadas à deposição de resíduos de construção e demolição e terra deslizada produzidos pelos episódios de chuvas na cidade de Nova Friburgo (RJ).

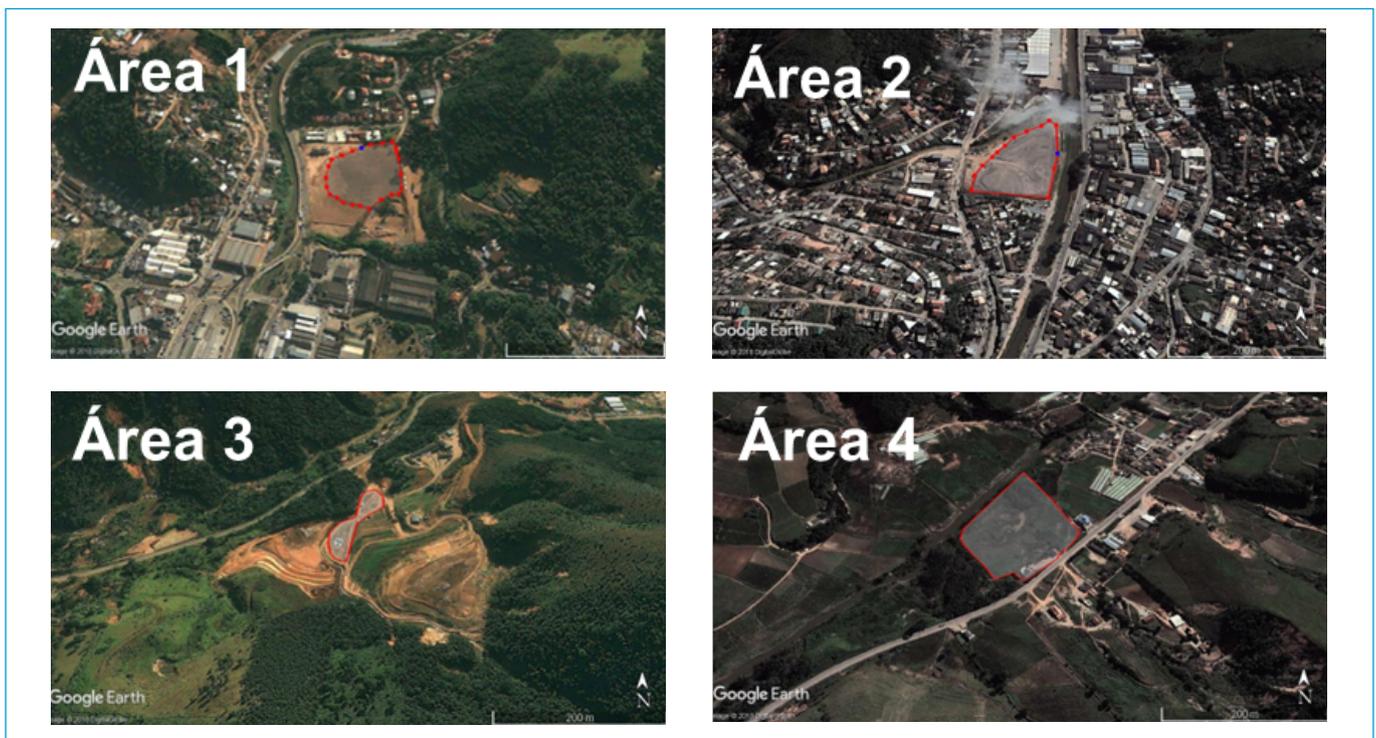


Figura 4 - Delimitação da porção de áreas ocupadas por escombros, aprox. 5 meses após as chuvas em Nova Friburgo, janeiro de 2011.

de vedação (BASTOS; CRUZ; WOELFFEL, 2016), redes de coleta de águas pluviais e esgotos, painéis pré-moldados de concreto para edificações, agregado para revestimento de pisos e paredes e, ainda, tijolos ecológicos de solo-cimento (ARINI, 2015), bem como em processos de fabricação que dispensam cura, reduzindo significativamente os custos com energia e tornando os produtos mais competitivos em relação aos seus equivalentes produzidos com agregados primários.

Entretanto, apesar das evidentes vantagens, parte da indústria de construção civil brasileira ainda resiste à utilização de agregados de RCD, em especial a população mais carente, que executa pequenas obras residenciais em razão do aumento de custos. Ainda assim, por força da PNRS, cresce o número de instalações de reciclagem de RCD no Brasil. Até 2002, antes da Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), o país contava apenas com 16 usinas de reciclagem de RCD, todas públicas. Em 2015, a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON) contabilizou 310 usinas, sendo 83% de capital fechado, 7% resultantes de parcerias público-privadas e apenas 10% públicas (BOHNENBERGER *et al.*, 2018), evidenciando grande potencial econômico para essa atividade. Dessas usinas, 74% utilizam equipamentos fixos, 21% funcionam com equipamento móvel e 5% têm equipamentos fixos e móveis.

Quando aplicada à LH, a reciclagem de RCD traz outros benefícios, se forem considerados os aspectos sociais relacionados. No episódio em questão, a população atingida mais diretamente com a perda de bens e de moradias poderia contribuir participando de algumas atividades de recuperação e reconstrução, pois os recursos humanos necessários não demandam grandes esforços de preparação. Máquinas de britagem e peneiração, idealizadas a partir de derivações de grandes equipamentos de mineração fora de uso, quebram e separam o RCD em rochas e agregados finos, após uma primeira fase de trabalho manual, utilizando esteiras, no estilo de “linha de produção”, para a retirada de “contaminantes” de outras naturezas (material orgânico, metal, alumínio, madeira, plástico

e borracha). Os resíduos restantes são produtos que podem ser aplicados em obras de contenção de encostas, bases e sub-bases para pavimentação de ruas, contribuindo para reduzir os custos das obras de recomposição da infraestrutura danificada pelo desastre. O mercado brasileiro já oferece, desde a década de 1990, equipamentos fixos ou móveis capazes de processar RCD e solo deslocado em qualquer escala.

Isso é interessante não apenas para baixar os custos do gerenciamento como também para mitigar os impactos ambientais dos aterros sanitários e evitar problemas de destinação de destroços em eventos de grande escala, como os que ocorreram no Japão, também em 2011 (AOKI, 2017). Essa abordagem é compatível ainda com o conceito *Collaborative Aid Network* (CAN), frequentemente utilizado em LH para atividades de outras naturezas (BEALT; MANSOURI, 2018) que apresentam baixa complexidade e utilizam o conhecimento e a capacidade que as comunidades atingidas por desastres têm. Com redes de coleta de RCD estruturadas e PEVs e ATTs em funcionamento, os residentes e os administradores da área atingida podem responder mais rápido às demandas de remoção de resíduos relacionadas à LH. O tamanho reduzido das máquinas de separação de RCD permite montar estruturas temporárias, como as descritas por Saffarzadeh *et al.* (2017) para os terremotos de Kumamoto, sudoeste do Japão, em abril de 2016, para serem acionadas sob demanda, emergencialmente.

Fora do contexto de LH, o Brasil apresenta diversos exemplos de uso de estruturas temporárias de reciclagem. O mais recente é a construção dos edifícios para abrigar a Vila Olímpica dos Jogos de 2016, no Rio de Janeiro. Nessa obra, 100% de seus RCD resultantes foram segregados e reutilizados nos canteiros de obra, de forma semelhante ao que ocorreu com as obras de infraestrutura de transportes (BRT e Linha 4 do Metrô). Belo Horizonte foi a primeira capital de estado a implantar um sistema de tratamento, antes do ano 2000, e é a cidade que mais recicla RCD no Brasil, com média anual de 15 mil m³ (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2018).

Tabela 5 - Composição estimada dos resíduos sólidos depositado na Área 1 da cidade de Nova Friburgo, destinada aos escombros do episódio de chuvas de 2011.

Componente	%	Volume mínimo m ³	Volume máximo m ³	Observações
Saibro ou argila - terra deslizada	50	60.625	72.750	Solo fértil para vegetação e que absorve muita água.
Matéria orgânica	10	12.125	14.550	Vegetação e restos animais em pequena escala.
RCD total	40	48.500	58.200	
*RCD - Concreto (0,17)	7,0	8.487	10.185	Utilizado em fundações e lajes.
*RCD - Argamassa (0,37)	15	18.187	21.825	Utilizada em assentamento de alvenarias e revestimentos.
*RCD - Pedra (0,22)	8,5	10.306	12.367	Utilizado na composição do concreto, revestimentos e pias de cozinha e banheiros.
*RCD - Cerâmicos (0,23)	9,0	10.912	13.095	Utilizado em alvenarias, revestimentos e telhados.
*RCD - Outros (0,01)	0,5	727	606	PVC (encanamentos), plástico (instalações elétricas), madeiras (base para telhado), etc.

*Normalizado segundo a média aritmética das colunas 1, 2 e 4 da Tabela 4; RDC: resíduos de construção e demolição; PVC: policloreto de vinila.

Fonte: Lima e Silva (2014).

Enfim, dependendo do tamanho e da quantidade de máquinas móveis de separação de RCD utilizadas na LH, as atividades de reciclagem podem auxiliar as cidades atingidas a prosseguirem posteriormente com o trabalho, estabelecendo uma rede coleta de resíduos que pode evoluir para uma rede permanente, aproveitando o momento de maior concentração de esforços para facilitar a sua adequação à lei da PNRS.

CONCLUSÕES

O volume de resíduos de construção, demolição e solo deslocado nos eventos decorrentes de chuvas na cidade Nova Friburgo, estado do de Janeiro, ocorridos em janeiro de 2011, apesar do tempo decorrido, ainda tem potencial para ser reciclado e reutilizado de várias formas, em aplicações não estruturais, importantes para a recuperação ou manutenção do patrimônio destruído ou danificado, quer ele seja de natureza pública ou privada. Entretanto, embora as técnicas e a regulamentação mínimas necessárias à execução dessas ações já existissem na época do desastre, não houve interesse de qualquer das partes envolvidas em realizar esse trabalho.

Como a cidade ainda não se adequou à PNRS, perde-se uma grande oportunidade de resolver um problema ambiental significativo não apenas ali, mas também em outras cidades brasileiras suscetíveis ao mesmo tipo de desastre. Soluções de baixa tecnologia e consumo de energia estão disponíveis há mais de 15 anos para a reciclagem desses resíduos e podem trazer muitos benefícios tanto aos envolvidos mais diretamente (habitantes que sofreram perdas de patrimônio) quanto a todos os habitantes de forma geral, com a diminuição dos custos de materiais de construção civil necessários à execução de obras públicas.

Por isso, a LH pode contribuir muito no sentido de auxiliar cidades brasileiras que ainda não se enquadraram na PNRS. Os benefícios

ambientais superam em muito os custos de implementação dessa rede, no médio e longo prazo, além de permitir a agilização das ações de resposta e resiliência em eventuais novos desastres porque, particularmente para Nova Friburgo e demais cidades atingidas em 2011, a organização urbana da cidade permanece oferecendo riscos de deslizamentos.

A adoção das tecnologias de reciclagem de RCD em pequena escala para gerenciar resíduos sólidos produzidos por desastres é, portanto, uma estratégia interessante para melhorar a eficiência da LH nas outras duas fases do ciclo de desastres — resposta e resiliência —, pois, com máquinas menores e de operação mais simples, a população local pode ser mobilizada também nesse sentido, auxiliando a diminuir os níveis de *stress* pós-traumático coletivo do desastre.

Finalmente, o Brasil, como país membro da OPAS, pode ainda utilizar-se dos seus documentos de orientação, conforme apresentado na segunda seção, para melhorar as práticas de Defesa Civil nesse sentido. Espera-se que este estudo demonstre que o gerenciamento de resíduos sólidos decorrentes de desastres pode contribuir de forma positiva para a diminuição generalizada de prejuízos materiais, resultando em fases de resiliência mais rápidas e atenuando de forma significativa as consequências negativas dos desastres naturais decorrentes de chuvas intensas em cidades brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES-Ministério da Educação pelo suporte financeiro, bem como às valiosas contribuições dos Tenentes-Coronéis Bombeiros Militares Alexandre Correia Pitaluga e Paulo Queiroz Trinta, do Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro, bem como do Tenente-Coronel Engenheiro Jacy Montenegro, do Instituto Militar de Engenharia, Exército Brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALTAY, N.; GREEN III, W.G. (2006) OR/MS Research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, v. 175, n. 1, p. 475-493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>

AOKI, N. (2017) Who would be willing to accept disaster debris in their backyard? Investigating the determinants of public attitudes in Post-Fukushima Japan. *Society for Risk Analysis*, v. 38, n. 3, p. 535-547. <https://doi.org/10.1111/risa.12858>

ARINI, R. (2015) Earth Architecture: an ecological, economic and self-sustainable solution, *Revista de Direito da Cidade*, v. 7, n. 1, p. 303-312. DOI: <http://doi.org/10.12957/rdc.2015.15196>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004a) *NBR 15112*: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos. Áreas de Transbordo e Triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004b) *NBR 15113*: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004c) *NBR 15114*: Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de Reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004d) *NBR 15115*: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004e) *NBR 15116*: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO (ABRECON). (2015) *Relatório Setorial 2014-2015*. São Paulo: ABRECON. 36 p. Disponível em: <<https://issuu.com/abrecon/docs/relatorio-pesq2015>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BANDEIRA, R.A.M.; CAMPOS, V.B.G. (2017) Estudo de Caso 1 - Deslizamentos da Região Serrana RJ/2011. In: LEIRAS, A.; YOSHIZAKI, H.T.Y.; SAMED, M.M.A.; GONÇALVES, M.B. (org.). *Logística Humanitária*. Brasil: Elsevier, p. 283-290.
- BARBOZA, M.F.; REZENDE, S. (2015) Gestão de resíduos sólidos em desastres naturais: Um olhar sobre a legislação brasileira. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 4., São Carlos. *Anais...* p. 174-178. Disponível em: <<http://neper.shs.eesc.usp.br/wp-content/uploads/2016/01/Anais-IV-SIRS.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BASTOS, I.A.; CRUZ, L.F.; WOELFFEL, A.B. (2016) Manufacture of concrete blocks for sealing wall with recycled aggregates in construction sites. *Revista Científica Faesa*, v. 12, n. 1, p. 52-58. <http://doi.org/10.5008/1809.7367.101>
- BEALT, J.; MANSOURI, S.A. (2018) From disaster to development: a systematic review of community-driven humanitarian logistics. *Disasters*, v. 42, n. 1, p. 124-148. <http://doi.org/10.1111/disa.12232>
- BOHNENBERGER, J.C.; PIMENTA, J.F.P.; ABREU, M.V.S.; COMINI, U.B.; CALIJURI, M.L.; MORAES, A.P.; PEREIRA, I.S. (2018) Identification of Areas for the deployment of a construction and demolition waste recycling plant using multicriteria. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 1, p. 299-311. <http://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100222>
- BRASIL. (1991) *Resolução CONAMA nº 6, de 19 de setembro de 1991*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=120>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BRASIL. (2002) *Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BRASIL. (2004) *Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BRASIL. (2008) Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. *Projeto BRA/OEA/08/001*: Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/4_manual_implantao_sistema_gesto_resduos_construo_civil_cp_125.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BRASIL. (2010a) *Decreto Presidencial nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BRASIL. (2010b) *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. 3ª ed. Brasília: Câmara dos Deputados. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/14826/politica_residuos_solidos_3ed.reimp.pdf?sequence=20>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BRASIL. MIN / SEDEC / DPP. (2017) *Livro Base - Resposta*: gestão de desastres, decretação e reconhecimento federal e gestão de recursos federais em proteção e defesa civil. Brasília: MIN / SEDEC / DPP. 106 p. Disponível em: <<https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/publicacoes/paz/resposta-livro-base.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BROWN, C.; MILKE, M.; SEVILLE, E. (2011) Disaster Waste Management: A review article. *Waste Management*, v. 31, n. 6, p. 1085-1098. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.027>
- CARPENTER, A.; JAMBECK, J.R.; GARDNER, K.; WEITZ, K. (2013) Life cycle assessment of end-of-life management options for construction and demolition debris. *Journal of Industrial Ecology*, v. 17, n. 3, p. 396-406. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00568.x>
- CENADE. (2014) *Política Nacional de Defesa Civil*. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, MIN.
- CHILE. (2016) Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. *Ley 20.920 de 1 de junho de 2016*. Disponível em: <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1090894>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- CROWLEY, J. (2017) A measurement of the effectiveness and efficiency of pre-disaster debris management plans. *Waste Management*, v. 62, p. 262-273. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.004>
- CUTHBERTSON, D. (2018) Recycling rout was a disaster waiting to happen. *The Sydney Morning Herald*. Disponível em: <<https://www.smh.com.au/national/recycling-rout-was-a-disaster-waiting-to-happen-20180131-p4y25g.html>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- DENOT, A. (2016) Prevention and management of waste resulting from natural disasters. *Waste Management*, v. 58, p. 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.002>
- DOMINGO, N.; LUO, H. (2017) Canterbury earthquake construction and demolition waste management: issues and improvement suggestions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 23, p. 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.03.003>
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA-USA). (2008) *Planning for Disaster Debris Guidance*. EPA530-K-08-001. Washington, DC: FEMA-USA. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/pnnd.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- FETTER, G.; RAKES, T. (2012) Incorporating recycling into post-disaster debris disposal. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 46, n. 1, p. 14-22.
- GABRIELLI, F.; AMATO, A.; BALDUCCI, S.; GALLUZZI, L.M.; BEOLCHINI, F. (2018) Disaster waste management in Italy: Analysis of recent case studies. *Waste Management*, v. 71, p. 542-555. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.012>

- GARCIA-TORRES, S.; KAHHAT, R.; SANTA-CRUZ, S. (2017) Methodology to characterize and quantify debris generation in residential buildings after seismic events. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 117, parte B, p. 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.006>
- GOVERNMENT OF SOUTH AUSTRALIA. (2015) Office for Green Industries SA. *Disaster Waste Management Scoping Study – Final Report*. Glenelg South. 118 p. Disponível em: <<https://www.greenindustries.sa.gov.au/disaster-waste-management>>. Acesso em: 27 out. 2020.
- GOVERNO DO JAPÃO. (2018) Ministério do Meio Ambiente. *Good Practice Cases of the disaster waste management after the Tsunami in Japan*. Disponível em: <<https://www.env.go.jp/en/focus/110603.html>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- GOVERNO DO MÉXICO. (2003) *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. Disponível em: <<http://bibliotecasemarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/190117.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- HU, Z-H.; SHEU, J-B. (2013) Post-disaster debris reverse logistics management under psychological cost minimization. *Transportation Research Part B*, v. 55, p. 118-141. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.05.010>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2017) *Contagem da População*. IBGE. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/estimativa_dou_2017.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- JADOVSKI, I.; MASUERO, A.B. (2006) Estudos dos custos de implementação, operação e manutenção de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 2006, Florianópolis. *Anais...* p. 1842-1851. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_1842_1851.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- JORNAL DO BRASIL. (1988) Calamidade ronda a cidade arrasada. *Jornal do Brasil*. Biblioteca Nacional/Periódicos. Disponível em: <http://memoria.bn.br/pdf/O30015/perO30015_1988_00315.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- KIM, J.; DESHMUKH, A.; HASTAK, M. (2018) A framework for assessing the resilience of a disaster debris management system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 28, p. 674-687. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.028>
- LABIAK, R.C.; VAN AARDT, J.; BESPALOV, D.; EYCHNER, D.; WIRCH, E.; BISCHOF, H. (2011) Automated method for delegation and quantification of building damage and debris using post-disaster LIDAR data. In: SPIE DEFENSE, SECURITY AND SENSING, Orlando. *Anais...* <https://doi.org/10.1117/12.883509>
- LETTIERI, E.; MARSELLA, C.; RADAELLI, G. (2009) Disaster management: findings from a systematic review. *Disaster Prevention and Management*, v. 18, n. 2, p. 117-136. <https://doi.org/10.1108/09653560910953207>
- LIMA E SILVA, M.B. (2014) *Novos materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na construção civil*. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- LORCA, A.; ÇELIK, M.; ERGUN, Ö.; KESKINOCAK, P. (2017) An optimization-based decision-support tool for post-disaster debris operations. *Production and Operations Management*, v. 26, n. 6, p. 1076-1091. <https://doi.org/10.1111/poms.12643>
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS); ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). (2003a) *Gestión de Residuos Sólidos en Situaciones de Desastre*. Washington, DC.: OMS/OPAS. 102 p. Parte 1. Disponível em: <<http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/Edan/publicaciones/GestionResiduos/residuos-parte1.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS); ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPS). (2003b) *Manejo de residuos sólidos domésticos después de un desastre natural*. Washington, DC.: OMS/OPS. Disponível em: <<http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/Edan/publicaciones/GestionResiduos/residuos-parte2.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- PERRY, R.W.; QUARANTELLI, E.R. (2005) *What is a Disaster: New Answers to Old Questions*. Filadélfia: Xlibris Corp.
- SAFFARZADEH, A.; SHIMAOKA, T.; NAKAYAMA, H.; HANASHIMA, T.; YAMAGUCHI, K.; MANABE, K. (2017) Tasks and problems involved in the handling of disaster waste upon April 2016 Kumamoto earthquake, Japan. *Natural Hazards*, v. 89, p. 1273-1290. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3021-1>
- SENEVIRATNE, K.; BALDRY, D.; PATHIRAGE, C. (2010) Disaster knowledge factors in managing disasters successfully. *International Journal of Strategic Property Management*, v. 14, n. 4, p. 376-390. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2010.28>
- TOWNSEND, T.; TOLAYMAT, T.; LEO, K.; JAMBECK, J. (2004) Heavy metals in recovered fines from construction and demolition debris recycling facilities in Florida. *Science of Total Environment*, v. 332, n. 1-3, p. 1-11.
- UNIÃO EUROPEIA. (2018) *Resource Efficient Use of Mixed Wastes*. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/mixed_waste.htm>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS (UN-OCHA). (2013) Emergency Preparedness Section. *Disaster Waste Management Guidelines*. 2ª ed. Genebra: UN-OCHA. 42 p. Disponível em: <<https://www.unocha.org/sites/unocha/files/DWMG.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.