

# Índices de geração de resíduos sólidos em uma obra portuária

*Solid waste generation indexes in a port site*

Paulo Roberto Geraldo Filho<sup>1</sup> , Alexandre Erbs<sup>2</sup> , Cezar Augusto Romano<sup>1</sup> ,  
Karina Querne de Carvalho<sup>1</sup> , André Nagalli<sup>1\*</sup> 

## RESUMO

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de recursos naturais. Por se encontrar em ambiente marinho, por sua magnitude e por sua produção elevada de resíduos da construção civil, obras portuárias possuem potencial poluidor, e a literatura técnico-científica sobre o assunto é incipiente. O objetivo desta pesquisa foi analisar índices de geração de resíduos sólidos durante a construção de um porto. Realizou-se o acompanhamento por 20 meses da gestão de resíduos sólidos ocorrentes na obra do Porto Dom Pedro II, em Paranaguá (PR). Por meio da avaliação aplicável à gestão de resíduos e de medições em campo, o processo de gestão dos resíduos sólidos foi caracterizado quanto aos agentes envolvidos, à origem, ao tipo, à quantidade, à taxa de geração, ao reúso e à destinação final. Foi avaliada a eficiência do processo de gerenciamento, e obtiveram-se índices de geração *per capita* e por área e de aproveitamento de resíduos. A composição, em massa, dos resíduos sólidos gerados na obra foi: sucata metálica (48%), sucata de madeira (29%), resíduo orgânico (10%), resíduo reciclável (8%) e resíduos perigosos (4%). Os indicadores de geração de resíduos mensais *per capita* foram calculados em: resíduos orgânicos (12,75 kg), ambulatoriais (8,14g), resíduos perigosos (5,33kg), copos plásticos (70,5 unidades) e equipamentos de proteção individual (3,89 unidades). Quanto à área construída, a geração média mensal de resíduos foi calculada em 0,35 kg/m<sup>2</sup> (resíduos perigosos), 3,51 kg/m<sup>2</sup> (madeira), 7,5 kg/m<sup>2</sup> (sucata metálica) e 0,97 kg/m<sup>2</sup> (orgânicos). Além do mapeamento de oportunidades de melhoria, os índices de geração e de aproveitamento calculados podem ser utilizados na gestão de resíduos da construção civil de obras semelhantes.

**Palavras-chave:** resíduos de construção e demolição; portos e hidrovias; resíduos sólidos; gestão de resíduos; reaproveitamento de resíduos.

## ABSTRACT

The construction industry is one of the largest consumers of natural resources. As it is in a marine environment and due to its magnitude and the high production of Construction and Demolition Waste (CDW), port works have a polluting potential and the technical-scientific literature on the subject is incipient. The objective of this research was to critically evaluate waste generation indexes of CDW during the construction of a port. The monitoring of the solid waste management from the Dom Pedro II port site in Paranaguá, Paraná, was carried out for 20 months. Through the assessment applicable to waste management and field measurements, the solid waste management process was characterized in terms of the agents involved, origin, type, quantity, generation rate, reuse, and destination. The efficiency of the management process was evaluated, and waste generation and utilization of Key Performance Indicators, per capita and per area, were obtained. The composition, in mass, of the solid waste generated in the work was: metallic scrap (48%), wood scrap (29%), organic waste (10%), recyclable waste (8%), and hazardous waste (4%). Per capita monthly waste generation indicators were calculated as: organic waste (12.75 kg), outpatient waste (8.14g), hazardous waste (5.33kg), plastic cups (70.5 units), and PPE (3.89 units). As for the built-up area, the average monthly generation of waste was calculated at 0.35 kg/m<sup>2</sup> (hazardous waste), 3.51 kg/m<sup>2</sup> (wood), 7.5 kg/m<sup>2</sup> (metallic scrap), and 0.97 kg /m<sup>2</sup> (organic). In addition to mapping opportunities for improvement, the calculated generation and utilization indexes can be used in the CDW management of similar works.

**Keywords:** construction and demolition waste; ports and waterways; solid waste; waste management; reuse of waste.

## INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é reconhecida como um setor de grande contribuição para o desenvolvimento econômico e social do país. Isso se deve especialmente à quantidade de empregos diretos e indiretos gerados e à influência

em diversos outros setores que produzem materiais, equipamentos e serviços utilizados no processo produtivo (GULARTE *et al.*, 2017).

Por outro lado, o setor também é um dos maiores consumidores de recursos naturais, representando cerca de 20 a 50% do total de recursos consumidos

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba (PR), Brasil.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Santa Catarina - Florianópolis (SC), Brasil.

\*Autor correspondente: nagalli@utfpr.edu.br

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum

Recebido: 01/11/2021 - Aceito: 14/07/2022 - Reg. ABES: 20210285

pela sociedade (MESQUITA, 2012; WU *et al.*, 2014), ocasionando alterações significativas na paisagem local (SILVA; BRITO; DHIR, 2014; BEZERRA *et al.*, 2016) e elevada quantidade de resíduos gerados ao longo da cadeia construtiva (KERN *et al.*, 2015; NAGALLI, 2021).

Mais de 10 bilhões de toneladas de resíduos da construção civil (RCC) são gerados anualmente em todo o mundo, sendo a maior parte deles passível de reaproveitamento. De forma comparativa, a União Europeia contribui com mais de 800 milhões de toneladas (AJAYI *et al.*, 2016), e a China, com cerca de 2.300 milhões (ZHENG *et al.*, 2017). Em relação aos Estados Unidos da América, a agência ambiental nacional publicou estudo estimando que quase 550 milhões de toneladas de RCC foram gerados no país no ano de 2015 (USEPA, 2018), mais do que o dobro da quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados no país no mesmo período, dos quais 75% foram direcionadas para reúso (USEPA, 2020).

No Brasil, as diretrizes e responsabilidades relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo a dos RCC, estão dispostas na Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Embora não haja dados oficiais que indiquem a geração anual de RCC, segundo o panorama dos resíduos sólidos no Brasil publicado no ano de 2020, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foram coletados no país 44,5 milhões de toneladas de RCC, o que representa 61% dos resíduos sólidos urbanos totais coletados (ABRELPE, 2020). De modo comparativo às demais economias citadas, nota-se que a geração de RCC no Brasil deve ser significativamente superior a esse valor. Alguns autores estimam que o volume de RCC representa de 50 a 70% do total dos resíduos sólidos urbanos gerados no país (BRASILEIRO; MATOS, 2015; NAGALLI, 2021).

Empreendimentos de infraestrutura, como obras portuárias, demandam a utilização maciça de matérias-primas, insumos e recursos humanos, mobilizam grande estrutura logística e econômica e produzem, por consequência, elevada quantidade de RCC. Tudo isso em ambiente de maior fragilidade ambiental, como a zona litorânea, abrangendo aspectos técnicos terrestres e marítimos.

Nesse contexto, para garantir o crescimento sustentável da atividade portuária, bem como sua contínua modernização e ampliação, visto que, de todos os modais, o transporte hidroviário é o que possui o menor custo, além de ser o menos poluente e ter maior capacidade de carga, manutenção mais barata e maior vida útil (COLAVITE; KONISHI, 2015), não há como ignorar a geração de RCC e sua respectiva gestão. Tal gestão, quando realizada de forma responsável, com planejamento e boas práticas, é capaz de proporcionar melhor qualidade de vida e benefícios socioambientais para a cidade e a região onde a obra é executada.

Nas últimas décadas, as atenções estão sendo voltadas para os impactos ambientais negativos decorrentes das construções e operações portuárias (DI VAIO; VARRIALE; TRUJILLO, 2019), originando em muitos países o conceito de porto verde (*green port*). De acordo com Acciaro (2015), os portos verdes implementam ações regulatórias que visam reduzir os impactos ambientais causados pela construção e operação dos portos. A autora considera que os portos sustentáveis tendem a ter a preferência na cadeia de abastecimento e, portanto, adquirirão domínio no setor de transporte. Com efeito, não se ignora que a geração de RCC em obras portuárias é inevitável, porém podem ser adotadas técnicas e estratégias de planejamento a longo prazo que visem a uma destinação mais nobre para esses resíduos, sem se olvidar de sua viabilidade econômica.

Para tal, é útil a compreensão quantitativa do processo de geração de resíduos sólidos. Por meio de índices de geração, que são indicadores que correlacionam

quantidades de resíduos geradas com características das obras, pode-se avaliar e definir a adequada estrutura de gestão.

Feitas essas considerações e constatada a escassez de literatura sobre o tema, o objetivo do estudo foi avaliar a geração dos resíduos por meio do cálculo de índices de geração de resíduos sólidos em uma obra de construção portuária.

## METODOLOGIA

Esta pesquisa é caracterizada como de natureza aplicada, de abordagem qualitativa e com objetivo exploratório. Já quanto aos procedimentos técnicos, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, seguida de um estudo de caso. Na primeira fase foi executada a caracterização do estudo pela formulação do problema, definição da unidade caso e descrição do estudo de caso. Nessa etapa foram identificados os processos construtivos e as atividades de apoio geradoras de resíduos, passíveis de monitoramento.

A segunda etapa, ainda de diagnóstico, consistiu na coleta de dados propriamente dita, em que foram obtidos dados e informações sobre o processo de geração e de gestão dos resíduos. Além da observação e das medições diretas, foram analisados documentos decorrentes do processo de gestão (manifestos de transporte de resíduos, certificados de destino final, licenças ambientais, contratos com fornecedores etc.).

Na terceira etapa, procedeu-se à avaliação crítica propriamente dita, em que foram consolidados e tratados os dados levantados. Nessa etapa se calcularam índices de geração de resíduos, *per capita* e por área, e taxas de reaproveitamento de estacas de concreto centrifugadas e camisas metálicas, úteis a gestores em processos de planejamento.

## Descrição do estudo de caso

O caso escolhido para estudo é a obra de ampliação do terminal de contêineres do Porto Dom Pedro II, localizado no município de Paranaguá, litoral do estado do Paraná. Teve como objeto de investigação a execução de quatro segmentos da obra:

- Cais: obra de prolongamento do cais de atracação de navios em 220 metros;
- *Dolphins*: demolição de um *dolphin* existente e construção de quatro novos para atracação de navios de transporte de veículos;
- Retroárea: construção da retroárea do berço 217;
- Ligação das retroáreas: correção de desnível no pátio de ligação entre as retroáreas.

A primeira obra executada foi a construção do cais. Na sequência, foram demolidos os *dolphins* existentes e construídos os novos. Depois, foi construída a retroárea e, por último, executada a correção do desnível do pátio existente. A Figura 1 apresenta a localização e as áreas de cada setor construído.

Em relação ao período de obra, a execução do cais ocorreu em 13 meses, com início em novembro de 2017 e término em dezembro de 2018. Os *dolphins* foram executados em cinco meses, de junho a novembro de 2018. A retroárea começou em novembro de 2017 e foi finalizada em junho de 2019, a atividade mais longa da obra, levando 19 meses para ser finalizada; e a correção do desnível entre as retroáreas levou aproximadamente dois meses, de julho a setembro de 2019. Dessa forma, considerando as atividades efetivas das quatro obras necessárias à ampliação do porto, depreende-se que foram necessários 20 meses para a construção da obra do estudo de caso.

Diversas foram as técnicas construtivas empregadas na obra (Figura 2). Para a execução das fundações, utilizaram-se estacas compostas de camisas metálicas vibradas e/ou cravadas, preenchidas internamente por concreto armado, e estacas cravadas em concreto, de seção circular. O processo de cravação de estacas e camisas metálicas ocorreu tanto por mar, por meio de balsas, quanto por terra, mediante estruturas tipo *cantitravel*. Após arrasamento em nível preestabelecido, sobre essas estacas se fixaram capitéis, sobre os quais eram lançadas peças em concreto armado tipo pré-laje e laje, consolidadas por meio de concretagem, com piso acabado em concreto, contendo fibras metálicas. Sistema de sinalização horizontal em piso e implantação de defensas metálicas compuseram as etapas finais de trabalho.



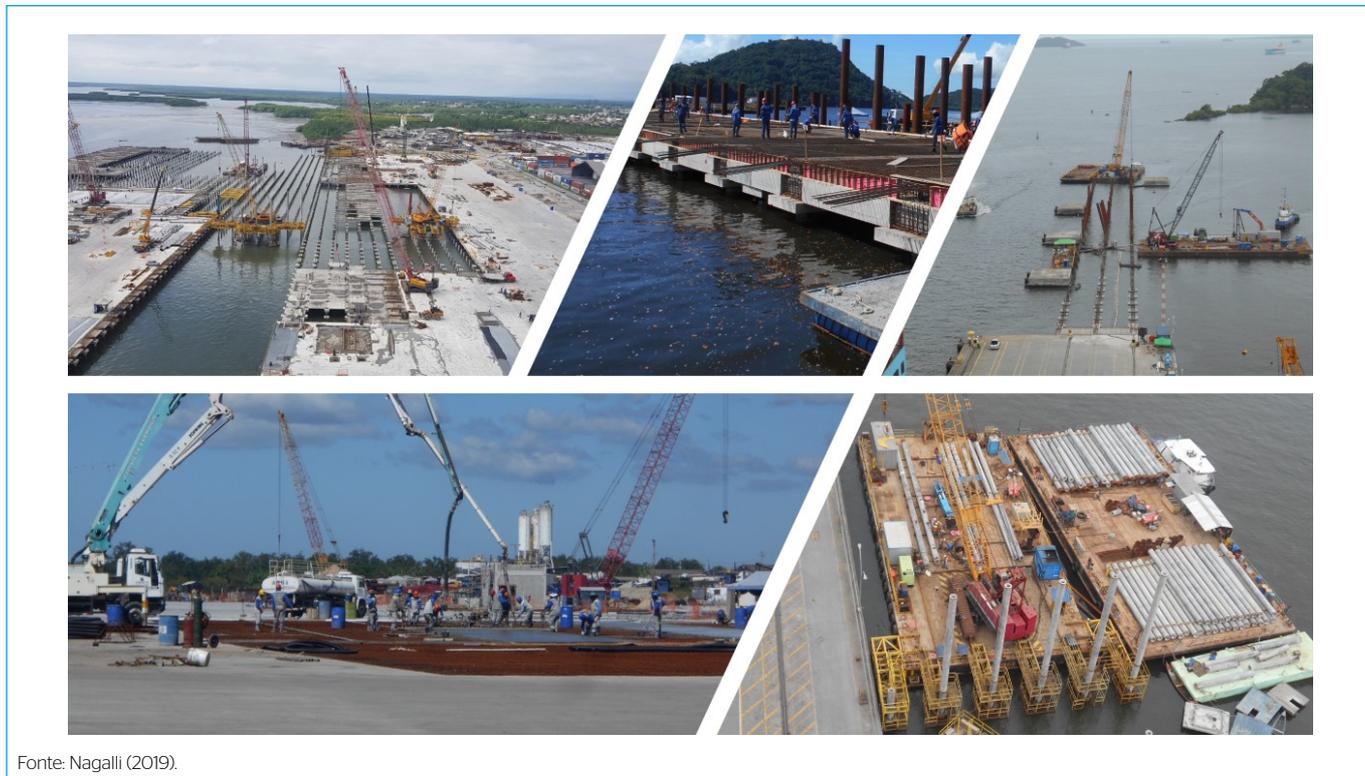
Foto: adaptado de Pablo Contreras (2018).

**Figura 1** – Identificação dos quatro segmentos da obra no Porto Dom Pedro II, Paranaguá (PR).

A obra contava em sua estrutura com refeitório, vestiários, sanitários, almoxarifado, ambulatório e escritórios. Para a execução dos serviços inerentes à obra, foram instalados no canteiro de obras: central de carpintaria, central de armação metálica, central de solda e usina de concreto. Os materiais pré-fabricados em concreto e as camisas metálicas para execução de fundações eram recebidos de estabelecimentos externos. Foi instalada uma central de pré-moldados no canteiro de obras destinada principalmente à fabricação de capitéis, vigas, pré-lajes e vigas de bordo.

No que concerne ao gerenciamento de resíduos, a construtora dispunha de equipe dedicada às questões relativas ao meio ambiente, que tratava também das questões acerca da segurança do trabalho. A obra dispôs de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, e a estrutura física de coleta seletiva abrangia coletores coloridos (Resolução Conama nº 275/01), caçambas estacionárias e central de resíduos perigosos. Parte dos RCC foi aproveitada na própria obra, e o restante era encaminhado a diferentes destinatários (aterro sanitário, aterros industriais classe I, cooperativas de reciclagem etc.). A construtora promovia a seus colaboradores treinamento específico durante o processo admissional e com periodicidade semanal tratava das questões ambientais, entre as quais a de resíduos, no diálogo diário de segurança.

Quanto ao aproveitamento de resíduos sólidos no próprio canteiro, a atividade geradora com maior repercussão foi a de cravação de estacas pré-fabricadas em concreto. O processo de cravação das estacas ocorreu em área marítima e terrestre. Sucessivos tramos de estacas foram cravados e unidos até que se obtivesse a resistência almejada. Alcançado por percussão tal posicionamento de base da estaca, observava-se que os níveis de superiores da estaca variavam (Figura 3), de tal modo que necessitavam ser igualados para implementação da concepção estrutural de projeto, em que tais estacas seriam unificadas à supraestrutura por meio de capitais, pré-lajes, vigas e lajes (Figura 4).



Fonte: Nagalli (2019).

**Figura 2** – Ilustração geral das técnicas construtivas utilizadas durante a obra portuária.

O processo de nivelamento das estacas ocorreu por corte com serra, por meio do qual se obtinham tramos de estacas em diferentes comprimentos. Tais tramos eram avaliados tecnicamente quanto à possibilidade de aproveitamento, na emenda a outras estacas, e, em caso de reprovação, tais objetos eram destinados ao processo de beneficiamento como resíduos. O processo consistia na quebra do concreto da estaca por meio de rompedor hidráulico, transformando o concreto em pequenos pedaços que seriam utilizados como agregados na confecção de aterro na própria obra. Ainda, por se tratar de estacas de concreto armado, obtinha-se sucata metálica proveniente do processo de separação da armadura do concreto. O processo é ilustrado pela Figura 5.

Postas as características do caso estudado, passa-se à análise dos resultados obtidos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise de documentos e informações, consolidados na Figura 6, foram identificados como mais gerados os seguintes tipos de resíduos, com percentuais calculados em massa: sucata metálica (48%); sucata de madeira (29%); resíduo orgânico (10%); resíduo reciclável (8%); e resíduos contaminados (4%).



**Figura 3** - Atividade de cravação de estacas de concreto e posicionamento em diversos níveis das estacas cravadas e estacas arrasadas.

A maior geração de resíduos metálicos ocorreu em dezembro de 2018, decorrente do término da construção do cais e da construção dos *dolphins*, ambas etapas executadas com cravação de camisas metálicas. No mesmo período foi iniciada a demolição das estacas pré-moldadas, com a separação e destinação do aço proveniente da armação das estacas centrifugadas.

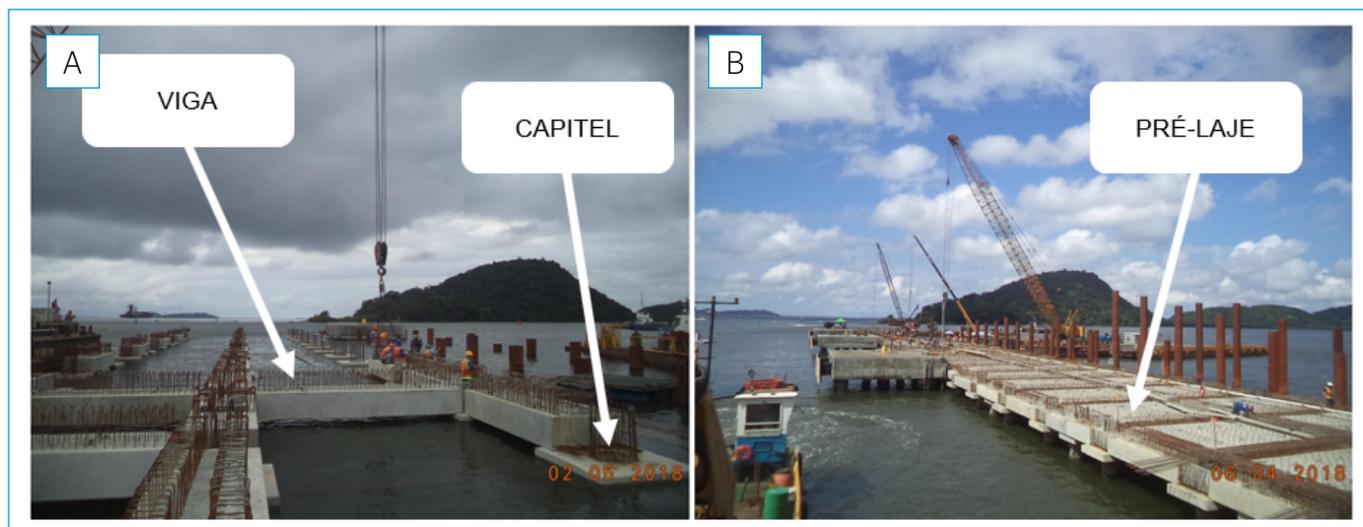
A maior parte da produção dos resíduos de madeira está concentrada no fim da obra. A produção elevada de resíduos de madeira nos meses de abril a julho de 2019 é oriunda da desmobilização do canteiro (instalações provisórias), com a retirada das coberturas de madeiras instaladas nas áreas de vivência, bem como da desmontagem da infraestrutura instalada para apoio nas áreas de pré-moldados e retroárea.

Concluída a análise global da geração de resíduos, passou-se à análise da geração de resíduos *per capita* (por colaborador). Os resultados da pesquisa revelaram os *key performance indicators* (KPI) mensais (Quadro 1).

Ao executar uma obra com atividades semelhantes e condições climáticas análogas às do estudo de caso, é provável que um colaborador gere em torno de 12,75 kg de resíduos orgânicos por mês. Considerando que uma caçamba estacionária de 5 m<sup>3</sup> acomodou nessa obra quantidade média de 660 kg de resíduos orgânicos, pode-se estabelecer a respectiva estrutura de acondicionamento e frequência de coleta.

De forma similar, a geração média de resíduo perigoso por funcionário foi de 5,33 kg/mês, incluídos os equipamentos de proteção individual (EPIs), as estopas e os panos contaminados com óleo e desmoldantes. Logo, conhecendo-se a densidade aparente média dos EPIs (densidade aparente média do resíduo plástico dessa obra igual = 87 kg/m<sup>3</sup>) e a densidade média de trapos (119 kg/m<sup>3</sup>), a quantidade de caçambas necessárias em uma obra portuária para destinação de resíduos contaminados pode ser calculada com base na quantidade de funcionários mensais. Os valores de densidade aparente calculados mostraram-se compatíveis com os disponíveis na literatura (NAGALLI; GERALDO FILHO; BACH, 2020; NAGALLI, 2021).

Em relação aos resíduos de serviços de saúde (RSS), por causa das coletas executadas mensalmente, a bombona de 50 L nunca encheu em sua totalidade. Se, quando o descarte dos RSS foi planejado, a equipe tivesse acesso ao índice de geração de 8,14 g de RSS por funcionário por mês, o transporte e o descarte desse resíduo poderiam ter sido mais bem executados. Percebe-se que poderia



**Figura 4** - Concepção estrutural do cais portuário, abrangendo ligação entre estacas e supraestrutura composta de capiteis, pré-lajes, vigas e lajes.

ter sido realizada a retirada dos RSS apenas após a bombona cheia, sendo prescindível a coleta mensal.

Ao analisar o consumo médio de copos plásticos por funcionário por dia, também é possível dimensionar a quantidade de tubos coletores necessários no canteiro de obras. Foi verificado neste estudo de caso que a melhor forma de armazenar os resíduos de copos plásticos é instalar tubos de policloreto de vinila (PVC) de 100 mm como porta-copos, dificultando assim a mistura de resíduos. Da análise da Figura 6, pode-se concluir que os resíduos recicláveis, os quais incluem os copos plásticos, apresentaram maior geração nos meses de verão, comparativamente aos de inverno. Tal fenômeno sugere que a geração de copos plásticos é influenciada pelo aspecto climático.

Quanto aos resíduos de EPIs, foram constatados dois grandes problemas: extravio de equipamentos e mistura de resíduo de EPI. Considerando a

quantidade adquirida, apenas 35% dos EPIs foram descartados, ou seja, houve grande quantidade de equipamentos extraviados ao longo do empreendimento. Dos EPIs descartados, verificou-se que os equipamentos contaminados eram descartados com os não contaminados. Os capacetes, os protetores faciais e os óculos escuros, em sua maioria, não eram contaminados e deveriam ter sido descartados corretamente para reciclagem, de acordo com seu material. Os autores Arten e Nagalli (2013) notaram em sua pesquisa que a maioria dos resíduos de EPIs contempla materiais recicláveis, como plástico e borracha, e consideram que existe potencial para reciclagem de resíduos de EPIs de acordo com o tipo de material.

Em função da quantidade de EPIs gerados ao longo da obra, percebeu-se a não necessidade de utilização de caçambas de 5 m<sup>3</sup> para destinação dos resíduos de EPIs. Poderiam ter sido mobilizadas duas bombonas de 200 L próximas



Figura 5 - Processo de aproveitamento das estacas de concreto, incluindo sua classificação, beneficiamento e disposição em aterro na própria obra.

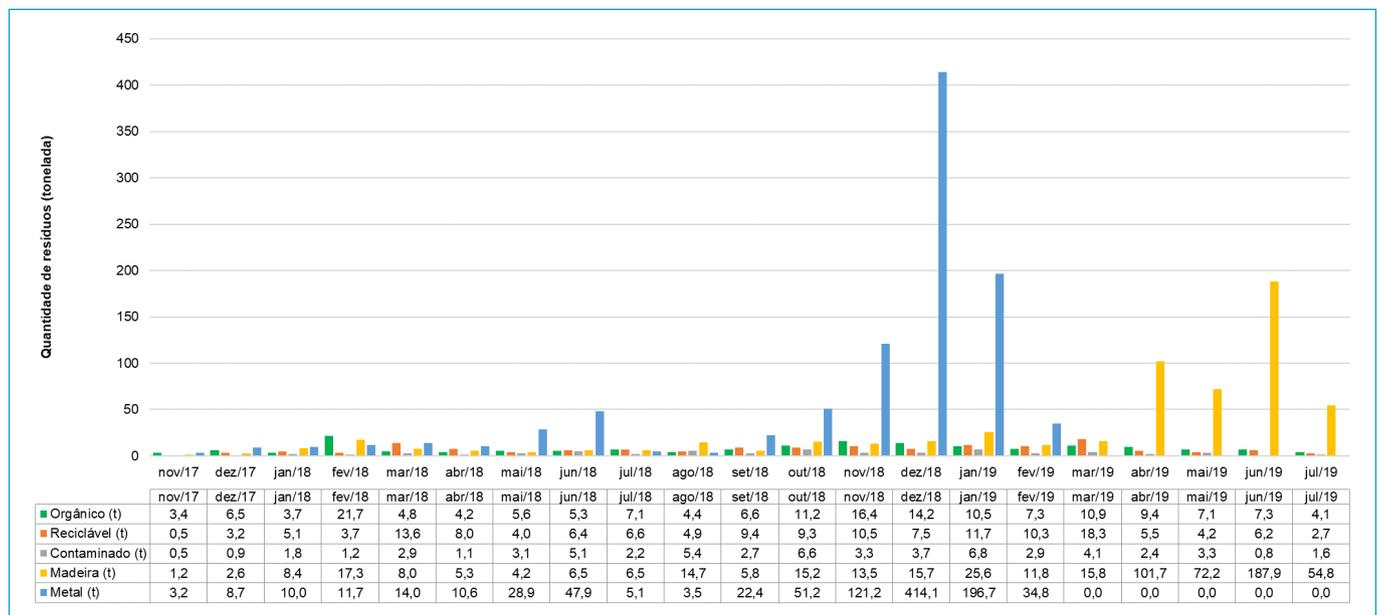


Figura 6 - Tipificação e quantidade média mensal de resíduos gerados ao longo da obra.

às áreas de entrega do novo EPI, uma destinada aos resíduos contaminados e outra aos materiais recicláveis (plástico). Assim, a separação do resíduo teria ocorrido com maior facilidade e eficiência.

Passa-se agora a tratar da obtenção de indicadores de geração de resíduos por área de serviço executada (área construída) (Quadro 2).

Ao executar uma obra semelhante, existe a probabilidade estatística de gerar  $0,35 \pm 0,21$  kg de resíduos contaminados por  $m^2$  construído por mês. Entre os resíduos perigosos gerados nessa obra portuária, estão incluídos os EPIs, as estopas e os panos contaminados com óleo e desmoldante, sendo possível dimensionar a respectiva estrutura de coleta.

No caso das sucatas de madeira, foi calculada a densidade aparente média de  $307 \text{ kg/m}^3$  para esse resíduo. Dessa forma, uma caçamba de  $5 \text{ m}^3$  acomoda  $1.535 \text{ kg}$  de resíduos de madeira. De acordo com a área de obra construída, é possível planejar a quantidade e a periodicidade de destinação de caçambas que serão necessárias no canteiro de obras semelhantes. De modo análogo, a densidade aparente média dos resíduos metálicos foi calculada em  $696 \text{ kg/m}^3$ . Ou seja, para encher uma caçamba de  $5 \text{ m}^3$ , são necessários, em média,  $3.480 \text{ kg}$  de sucata metálica.

De acordo com a densidade dos resíduos orgânicos ( $132 \text{ kg/m}^3$ ), uma caçamba acomoda em torno de  $660 \text{ kg}$  desse resíduo. Assim sendo, é possível calcular a quantidade de caçambas que serão necessárias em um canteiro de futura obra semelhante, sabendo que a cada  $1 \text{ m}^2$  de obra construída são gerados em torno de  $0,97 \pm 0,54 \text{ kg}$  de resíduos orgânicos.

A fim de mensurar a economia de matéria-prima alcançada com a reutilização dos resíduos provenientes do estaqueamento com camisas metálicas, foi analisada detalhadamente a planilha de controle de cravação de camisas metálicas. Os quantitativos de camisas metálicas adquiridas para a execução do cais e o percentual de material reaproveitado no processo executivo estão citados no Quadro 3.

Ao analisar o Quadro 3, é possível verificar que, do total do comprimento executado, 10% corresponde a materiais reaproveitados. É importante ressaltar também que foram cravadas 350 estacas de camisas metálicas na obra do cais. Entre essas camisas metálicas, foram reutilizados 258 pedaços com  $4,50 \text{ m}$  de

comprimento. Assim, pode-se afirmar que foi economizada a aquisição de 114 peças de camisas metálicas.

De modo análogo, a planilha de controle de cravação de estacas pré-fabricadas em concreto foi estudada, e as quantidades utilizadas na execução da retroárea foram contabilizadas (Quadro 4).

Da análise do Quadro 4, depreende-se que 11% do comprimento total de estacas foi executado pelo reaproveitamento dos resíduos gerados na cravação de estacas. Para a construção da retroárea, foram cravadas 7.423 estacas provenientes de tramos pré-moldados de concreto. Dessas estacas cravadas, quase 38% (2805 estacas) foram executadas com algum pedaço de tramo reaproveitado, sendo a média do comprimento dos pedaços reutilizados  $10,64 \text{ m}$ . Ao contabilizar o total de comprimento reaproveitado, calcula-se que foi economizada a aquisição de 2.489 estacas de concreto centrifugadas.

Pela observação das práticas de gestão de resíduos adotadas, inspeção da estrutura de coleta seletiva e de armazenamento, documentos aplicáveis e percepção dos autores em relação aos relatos dos colaboradores envolvidos, concluiu-se que o sistema de gerenciamento de resíduos adotado no citado caso se mostrou efetivo. Foram observadas as práticas estabelecidas no projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil precedente. Promoveram-se os treinamentos e as sensibilizações aplicáveis, tendo-se evidenciado a importância do acompanhamento frequente, com ações de fiscalização e de orientação rotineiras.

## CONCLUSÃO

Por meio da avaliação crítica do gerenciamento dos resíduos de construção civil de uma obra portuária, foi possível mensurar índices de geração de resíduos sólidos associados a obras de infraestrutura. Uma vez indisponíveis na literatura consultada, os índices de geração calculados para o caso estudado podem ser utilizados no planejamento de obras similares. Tais índices revelam-se importantes na medida em que possibilitam dimensionar a estrutura de coleta seletiva, estabelecer metas para eficiência do sistema de gestão, taxas de reaproveitamento de resíduos, entre outros.

**Quadro 1** - Indicadores de geração de resíduos mensais *per capita*.

Tipo de resíduos	Key performance indicator mensal
Resíduos orgânicos	12,75 kg/colaborador
Resíduos ambulatoriais	8,14 g/colaborador
Resíduos perigosos (classe I)	5,33 kg/colaborador
Utilização de copos plásticos	70,50 unidades/colaborador
Geração de resíduos de equipamentos de proteção individual	3,89 unidades/colaborador

**Quadro 2** - Indicadores de geração de resíduos mensais médios por área construída.

Tipo de resíduo	Key performance indicator mensal ( $\text{kg/m}^2$ )
Resíduos perigosos	0,35
Resíduos de madeira	3,51
Resíduos metálicos	7,52
Resíduos orgânicos	0,97

**Quadro 3** - Quantidades executadas e aproveitamento dos resíduos das camisas metálicas.

Camisas metálicas	Unidade	Quantidade
Total de estacas cravadas	m	13.237,30
Total de estacas reutilizadas	m	1.366,19
Quantidade de estacas cravadas	unidade	350
Quantidade de tramos reutilizados	unidade	258

**Quadro 4** - Reaproveitamento dos resíduos das estacas de concreto centrifugadas.

Estacas de concreto centrifugadas	Unidade	Quantidade
Total de estacas cravadas	m	242.447,28
Total de estacas reutilizadas	m	27.381
Quantidade de estacas cravadas	unidade	7.423
Quantidade de estacas com reaproveitamento	unidade	2.805

Definiram-se as proporções de resíduos orgânicos (10%), sucata metálica (48%), madeira (29%), recicláveis (8%) e perigosos (4%) gerados ao longo da obra. Foram ainda calculadas as taxas de geração *per capita* para os seguintes resíduos: orgânicos (12,75 kg), ambulatoriais (8,14 g), resíduos perigosos (5,33 kg), copos plásticos (70,5 unidades) e EPIs (3,89 unidade). Calcularam-se os índices de geração comparativamente à área construída, tendo sido a geração média mensal de resíduos calculada em 0,35 kg/m<sup>2</sup> (resíduos perigosos), 3,51 kg/m<sup>2</sup> (madeira), 7,5 kg/m<sup>2</sup> (sucata metálica) e 0,97 kg/m<sup>2</sup> (orgânicos). Entre esses resíduos, as gerações mais significativas foram em relação aos resíduos orgânicos e aos copos plásticos.

Concluiu-se que os dois procedimentos executivos mais importantes da obra — camisas metálicas e demolição das estacas pré-moldadas — geram elevada quantidade de resíduos metálicos. Foi possível definir as proporções de camisas metálicas e de estacas de concreto centrifugadas construídas com resíduos do processo de cravação de estacas. Constatou-se que entre 10 e 11% do

comprimento total das estacas foi executado com reaproveitamento dos resíduos gerados no próprio processo executivo.

A investigação de canteiros de obras de infraestrutura possibilita a obtenção de índices de geração de resíduos sólidos úteis aos gestores. Trata-se de uma área cujos estudos publicados são ainda incipientes, sendo recomendadas investigações complementares e comparativas.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Geraldo Filho, P.R.: Curadoria dos dados, Análise Formal, Recursos, Investigação. Erbs, A.: Análise Formal, Validação. Romano, C.A.: Análise Formal, Validação. Carvalho, K. Q.: Análise Formal, Validação. Nagalli, A.: Conceituação, Curadoria dos Dados, Metodologia, Administração do Projeto, Recursos, Supervisão, Validação, Escrita — Primeira Redação, Escrita — Revisão e Edição.

## REFERÊNCIAS

- ACCIARO, M. Corporate responsibility and value creation in the port sector. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, v. 18, n. 3, p. 291-311, mar. 2015. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1027150>
- AJAYI, S.O.; AKINADE, O.O.; ALAKA, H.A.; BILAL, M.; OWOLABI, H.; OYEDELE, L.O.A. Reducing waste to landfill: A need for cultural change in the UK construction industry. *Journal of Building Engineering*, v. 5, p. 185-193, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.12.007>
- ARTEN, P.L.R.; NAGALLI, A. The disposal of personal protective equipment used in the heavy construction sector. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, v. 18, p. 1511-1519, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo: ABRELPE, 2020. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 6 maio 2021.
- BEZERRA, R.P.L.; SILVA, R.C.P.; ACIOLI, N.T.B.; ANJOS, R.C. Avaliação do desperdício de materiais em obras de edificações. In: ENCONTRO PERNAMBUCANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 5., 2016, Recife. *Anais [...]*. Recife: UFRPE, 2016.
- BRASIL. Lei da Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 15 maio 2021.
- BRASILEIRO, L.L.; MATOS, J.M.E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015. <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>
- COLAVITE, A.S.; KONISHI, F. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 12., 2015, Rezende. *Anais [...]*. Rezende: AEDB, 2015.
- CONTRERAS, P. Fotografias de acervo pessoal. Paranaguá, 2018.
- DI VAIO, A.; VARRIALE, L.; TRUJILLO, L. Management control systems in port waste management: evidence from Italy. *Utilities Policy*, v. 56, p. 127-135, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.12.001>
- GULARTE, L.C.P.; LIMA, J.D.; OLIVEIRA, G.A.; TRENTIN, M.G.; SETTI, D. Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco (PR), utilizando a metodologia multi-índice ampliada. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 985-992, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017162097>
- KERN, A.P.; DIAS, M.F.; KULAKOWSKI, M.P.; GOMES, L.P. Waste generated in highrise buildings construction: a quantification model based on statistical multiple regression. *Waste Management*, v. 39, p. 35-44, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.043>
- MESQUITA, A.S.G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. *Revista Holos*, v. 2, p. 58-65, 2012. <https://doi.org/10.15628/holos.2012.835>
- NAGALLI, A. *Aspectos quantitativos da geração de resíduos na construção civil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. v. 1. 128 p.
- NAGALLI, A. Fotografias de acervo pessoal. Paranaguá, 2019.
- NAGALLI, A.; GERALDO FILHO, P.R.; BACH, N.S. Densidade aparente média de resíduos sólidos coletados em uma obra portuária. *Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 9, n. 19, p. 67-74, 2020. <https://doi.org/10.22292/mas.v9i19.933>
- SILVA, R.V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, v. 65, p. 201-217, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Construction and demolition debris management in the United States, 2015*. USEPA, 2018. Disponível em: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/construction-and-demolition-debris-material>. Acesso em: 8 maio 2021.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Construction and demolition debris management in the United States, 2015*. USEPA, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/construction-and-demolition-debris-material>. Acesso em: 8 maio 2021.

WU, Z.; YU, A.T.W.; SHEN, L.; LIU, G. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. *Waste Management*, v. 34, n. 9, p. 1683-1692, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.010>

ZHENG, L.; WU, H.; ZHANG, H.; DUAN, H.; WANG, J.; JIANG, W.; DONG, G.L.; ZUO, J.; SONG, Q. Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China. *Construction and Building Materials*, v. 136, p. 405-413, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.055>

