

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

PAULO ROBERTO GERALDO FILHO

**AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS:
ESTUDO DE CASO EM OBRA PORTUÁRIA NO MUNICÍPIO DE
PARANAGUÁ/PR**

CURITIBA

2021

PAULO ROBERTO GERALDO FILHO

**AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS:
ESTUDO DE CASO EM OBRA PORTUÁRIA NO MUNICÍPIO DE
PARANAGUÁ/PR**

**Evaluation of a solid waste management: case study in a port work in
Paranaguá city, Parana State.**

Trabalho de Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Meio Ambiente. Linha de Pesquisa: Saneamento e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, desde que atribuam ao autor o devido crédito. Os usuários não têm que licenciar os trabalhos derivados sob os mesmos termos estabelecidos pelo autor do trabalho original.



PAULO ROBERTO GERALDO FILHO

**AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ESTUDO DE CASO EM OBRA PORTUÁRIA NO
MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ/PR**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Meio Ambiente.

Data de aprovação: 26 de Agosto de 2021

Prof Andre Nagalli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Alexandre Erbs, Doutorado - Instituto Federal Santa Catarina - Ifsc

Prof Cezar Augusto Romano, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 26/08/2021.

Dedico este trabalho aos meus pais pelo
esforço que fizeram para minha educação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante etapa da minha vida em busca ao conhecimento, podem estar certas de que fazem parte dos meus pensamentos e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador professor André Nagalli, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, por sua amizade em todo esse período, por nossas trocas de experiências durante a elaboração dessa pesquisa e por ter me ajudado a transcrever em palavras aquilo que eu idealizei.

Aos meus colegas de trabalho e à empresa Porto Construtora de Obras Ltda., meus sinceros agradecimentos pelo apoio e companheirismo nessa jornada incessante e tão importante.

Agradeço também aos membros da Banca Examinadora, pela disponibilidade e pelas contribuições cedidas com gentileza. Aos demais professores envolvidos em minha educação, agradeço por partilharem conhecimento e experiência de grande valia. O meu agradecimento se estende à secretaria do curso pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também o meu reconhecimento à minha família, pois sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio. Obrigado pelo carinho, afeto, paciência e confiança depositados em mim nos momentos de vitórias e de dificuldades.

Portanto, a todos os envolvidos de alguma forma da realização dessa pesquisa, o meu muito obrigado!

“Respiramos todos um só ar, bebemos todos a mesma água, vivemos todos em uma só Terra. Nós devemos protegê-la.”

(CACIQUE RAONI METUKTIRE, 2000).

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de recursos naturais e é a maior geradora de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil. Por se encontrar em ambiente marinho e devido à sua magnitude e à produção elevada de Resíduos da Construção Civil (RCC), obras portuárias possuem potencial poluidor e podem agravar a degradação ambiental. Ao conhecer o índice de resíduos gerados, criar estratégia de gestão de resíduos e estabelecer a logística de coleta ou reuso dos materiais, é possível modernizar a indústria da construção e reduzir a geração de RCC. Esta pesquisa avaliou criticamente o gerenciamento dos RCC na construção de um porto. Para tal, foi realizado o acompanhamento por 20 meses da gestão dos RCC provenientes da obra do Porto Dom Pedro II, em Paranaguá – PR. O processo de gestão dos resíduos sólidos foi caracterizado quanto aos agentes envolvidos, à origem, ao tipo, à quantidade, à taxa de geração, ao reuso e à destinação final. O processo de triagem de resíduos foi verificado através da segregação, do acondicionamento, do reaproveitamento e da destinação dos resíduos. Foi verificado que mesmo com palestras e treinamentos sobre o tema, a segregação correta dos resíduos era dependente de fiscalização. Foram verificadas as condições de trabalho que geraram maior quantidade de resíduos sólidos na obra e as proporções de RCC reutilizados no próprio processo construtivo de estaqueamento. Ao final, indicadores de geração de resíduos foram definidos e oportunidades de melhoria no processo de gerenciamento foram propostas, atuando como instrumento para a gestão de resíduos na construção de obras semelhantes.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição. Obra portuária. Portos e hidrovias. Resíduos da construção civil. Reutilização de materiais.

ABSTRACT

The civil construction industry is one of the biggest consumers of natural resources and is the biggest generator of Urban Solid Waste (USW) in Brazil. Because it is in a marine environment and due to its magnitude and high production of CW, port works have polluting potential and can aggravate environmental degradation. By knowing the rate of waste generated, creating a waste management strategy and establishing the logistics for collecting or reusing materials, it is possible to modernize the construction industry and reduce the generation of CW. This research critically evaluated the management of CW in port construction. To this end, a follow up of 20-month was carried out on the management of the CW at Porto Dom Pedro II, in Paranaguá – PR. The port construction solid waste management process was characterized in terms of agents involved, origin, type, quantity, generation rate, reuse and destination. The waste screening process was verified through the segregation, packaging, reuse and disposal of waste. It was found that even with lectures and training on the subject, the correct segregation of waste was dependent on inspection. The working conditions that generated the greatest amount of solid waste in the construction and the proportions of CW reused in the staking construction process were verified. At the end, indicators for waste generation were defined and opportunities for improvement in the management process were proposed, which can serve as an instrument for the management of waste from future port works.

Keywords: Construction and demolition waste. Sea port construction. ports and waterways. Civil construction waste. Reuse of materials.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Linha do tempo - Leis Federais, Estaduais e Resoluções relacionadas à resíduos sólidos **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2 – Indústria da Construção Civil, gestão de RCC e fontes geradoras de impactos ambiental. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3 – Prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 4 – Orientações da NBR 11.174 para o armazenamento dos resíduos de Classe II e III **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5 – Combinação de aspectos necessários para garantir o sucesso de uma tecnologia de reciclagem..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6 – Estrutura geral do trabalho. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 7 –Posicionamento do município de Paranaguá no mapa do Estado do Paraná e vista geral do Porto Dom Pedro II. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 8 – Identificação dos 4 segmentos da obra no Porto Dom Pedro II, Paranaguá - PR. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 9 – Identificação dos 4 segmentos da obra no Porto Dom Pedro II, Paranaguá - PR. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 10 – Bombonas utilizadas como lixeira. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 11 – Central de Resíduos do Canteiro de Obras. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 12 – a) Central de resíduos perigosos e b) coleta de lâmpadas e EPIs.... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 13 – Instalação de camisas metálicas..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 14 – Armazenamento de camisas metálicas. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 15 – Instalação de Estacas de Concreto..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 16 – Armazenamento de Estacas de Concreto. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 17 – a) Camisas metálicas instaladas e aguardando arrasamento e b) camisas metálicas com a cota de projeto..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 18 – Avaliação do resíduo de camisas metálicas..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 19 – a) Reparo dos resíduos das camisas metálicas e b) reaproveitamento dos resíduos das camisas metálicas com sua mesma função. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 20 – Anel de reforço instalado na camisa metálica. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 21 – a) Estacas pré-moldadas instaladas e aguardando arrasamento e b) estacas pré-moldadas com a cota de projeto..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 22 – Anel de aço nas extremidades das estacas de concreto. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 23 – Estacas de concreto com luvas de emenda. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 24 – Estacas de concreto não aprovadas pelo controle de qualidade. **Erro!
Indicador não definido.**

Figura 25 – Demolição das Estacas de Concreto.	72
Figura 26 – Estacas de concreto transformadas em agregado.	73
Figura 27 – Lançamento do agregado proveniente das estacas de concreto.	73
Figura 28 – a) Exemplo de palestra informativa para manejo dos resíduos e b) exemplo de DDS sobre resíduos sólidos.	77
Figura 29 – a) Estrutura de coleta seletiva nas frentes de trabalho flutuantes e b) coletores de copos plásticos na área dos bebedouros.	79
Figura 30 – a) Central de resíduos contaminados e b) separação de resíduos de EPIs para descarte.	79
Figura 31 – a) Composteiras de madeira; b) alface da horta comunitária e c) couve da horta comunitária.	81
Figura 32 – a) Defensas confeccionadas com resíduos de concreto, b) peças de pavimentação confeccionadas com resíduos de concreto e c) vasos para plantas confeccionados com resíduos de concreto.	82
Figura 33 – Instalação de corpos de prova e blocos de concreto na horta comunitária.	82
Figura 34 – Quantidade de Média de resíduos gerados por mês.	86
Figura 35 – Gráfico: comparativo da geração de resíduos orgânicos com a quantidade de funcionários na obra.	89
Figura 36 – Gráfico: comparativo da quantidade de trabalhadores com a geração de resíduos de serviço de saúde.	91
Figura 37 – Gráfico: comparativo da quantidade de trabalhadores com a geração de resíduos contaminados.	93
Figura 38 – Proporção do total de resíduos de EPIs descartados.	95
Figura 39 – Gráfico: comparativo da quantidade de funcionários com a quantidade de resíduos de EPIs gerados.	97
Figura 40 – Gráfico: comparativo da quantidade de aquisição de EPIs com a quantidade de resíduos de EPIs gerados.	99
Figura 41 – Gráfico: comparativo da quantidade de RCC gerados por mês com a área mensal das obras executadas.	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios para a classificação de resíduos sólidos	Erro! Indicador não definido.
Quadro 2 – Classificação de resíduos sólidos pela PNRS	Erro! Indicador não definido.
Quadro 3 – Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos pela NBR 10.004/04	Erro! Indicador não definido.
Quadro 4 – Classificação dos RCC de acordo com as Resoluções CONAMA n° 307/2002, n° 348/2004, n° 431/2011, n° 448/2012 e n° 469/2015.....	Erro! Indicador não definido.
Quadro 5 – Formas e vantagens da reutilização de RCC	Erro! Indicador não definido.
Quadro 6 – Formas e vantagens da reutilização de RCC	Erro! Indicador não definido.
Quadro 7 – <i>String</i> de busca.....	Erro! Indicador não definido.
Quadro 8 – Indicadores de geração de resíduos mensais por funcionário.	100
Quadro 9 – Média da área total construída por mês.	102
Quadro 10 – Indicadores de geração de resíduos mensais por área construída. ...	110
Quadro 11 – Reaproveitamento dos resíduos das camisas metálicas.	111
Quadro 12 – Reaproveitamento dos resíduos das estacas de concreto centrifugadas.	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos resíduos constantes da Planilha MTR.	66
Tabela 2 – Exemplo de controle de cravação de estacas de camisas metálicas.	69
Tabela 3 – Exemplo de controle de cravação de estacas de concreto centrifugadas.	74
Tabela 4 – Média de produção de resíduo orgânico por funcionário por mês.	88
Tabela 5 – Média de produção de resíduo ambulatorial por funcionário por mês.	90
Tabela 6 – Média de produção de resíduo contaminado por funcionário por mês.	92
Tabela 7 – Média de utilização de copos plásticos por funcionário por mês.	94
Tabela 8 – Estimativa de resíduos de EPIs gerados por funcionário por mês.	96
Tabela 9 – Proporção de resíduos contaminados por área constuída.	105
Tabela 10 – Proporção de resíduos de madeira por área constuída.	106
Tabela 11 – Proporção de resíduos metálicos por área constuída.	108
Tabela 12 – Proporção de resíduos orgânicos por área constuída.	109

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BGS	Brita Graduada Simples
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CDW	<i>Construction and Demolition Waste</i>
DDS	Diálogo Diário de Segurança
DNH	Diretoria de Hidrografia e Navegação
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EUA	Estados Unidos da América
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MTb	Ministério do Trabalho
MTR	Manifesto de Transporte de Resíduos
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PR	Paraná
RCC	Resíduos de Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

LISTA DE ACRÔNIMOS

CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
QUALIHAB	Programa da Qualidade da Construção Habitacional
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.3 JUSTIFICATIVA	21
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
1.6 DELIMITAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA	24
2 REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	25
2.1.1 Políticas Públicas	28
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
2.2.1 Origem dos resíduos da construção civil	31
2.2.2 Classificação de resíduos da construção civil	33
2.2.3 Impacto dos resíduos da construção civil	35
2.3 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ...	38
2.3.1 Reciclagem de resíduos da construção civil	42
2.3.2 Processo de reciclagem de resíduos da construção civil	44
2.3.3 Gestão de resíduos da construção de obras portuárias	46
2.3.4 Caracterização do estudo de caso	49
3 METODOLOGIA	51
3.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA	51
3.2 <i>STRING</i> DE BUSCA	52
3.3 ETAPAS DA PESQUISA	53
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	54
3.4.1 Descrição do estudo de caso	55
3.4.2 Descrição da gestão dos resíduos do estudo de caso	58
3.4.3 Principais processos construtivos geradores de resíduos sólidos	61
3.4.3.1 Canteiro de obras	61
3.4.3.2 Instalação de camisas metálicas	62
3.4.3.3 Instalação de estacas de concreto centrifugadas	63
3.5 COLETA DE DADOS	65
3.5.1 Resíduos gerados no canteiro de obras	65
3.5.2 Resíduos provenientes das camisas metálicas	66
3.5.3 Resíduos provenientes das estacas de concreto centrifugadas	70
3.6 LEVANTAMENTO DE INDICADORES DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS	74
4 ANÁLISE DE DADOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
4.1 ANÁLISE DO PROCESSO DE GESTÃO DE RCC DO ESTUDO DE CASO ...	76
4.1.1 Análise crítica da segregação dos resíduos	76
4.1.2 Análise crítica do acondicionamento dos resíduos	78
4.1.3 Análise crítica do reaproveitamento dos resíduos	80

4.1.4 Análise crítica da destinação dos resíduos	84
4.2 DEFINIÇÃO DAS PROPORÇÕES DE RESÍDUOS GERADOS	84
4.2.1 Comparativo entre a quantidade de funcionários e a geração de resíduos orgânicos	87
4.2.2 Comparativo entre a quantidade de funcionários e a geração de resíduos de serviço de saúde	90
4.2.3 Comparativo entre a quantidade de funcionários e a geração de resíduos perigosos	92
4.2.4 Comparativo entre a quantidade de funcionários e a utilização de copos plásticos	94
4.2.5 Comparativo entre a quantidade de funcionários e os resíduos de EPIs	95
4.2.6 Comparativo entre a compra de epis e os resíduos de EPIs	98
4.2.7 Definição de indicadores de geração de resíduos por funcionários	100
4.3 DEFINIÇÃO DAS PROPORÇÕES DE RESÍDUOS PROVENIENTES DAS ATIVIDADES EXECUTADAS	102
4.3.1 Comparativo entre a área construída e os resíduos contaminados	105
4.3.2 Comparativo entre a área construída e os resíduos de madeira	106
4.3.3 Comparativo entre a área construída e os resíduos metálicos	107
4.3.4 Comparativo entre a área construída e os resíduos orgânicos	109
4.3.5 Definição de indicadores de geração de resíduos por área construída ..	110
4.4 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DAS CAMISAS METÁLICAS	111
4.5 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DE ESTACAS DE CONCRETO CENTRIFUGADAS	112
4.6 ANÁLISE GERAL DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO ESTUDO DE CASO	113
5 CONCLUSÕES	116
REFERÊNCIAS	119

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é reconhecida como um setor de grande contribuição para o desenvolvimento econômico e social do país. Isto 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 (MARTINS, 2012; 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 pela sociedade (MESQUITA, 2012; WU *et al.*, 2014), ocasionando alterações significativas na paisagem local (SILVA *et al.*, 2014; BEZERRA *et al.*, 2016) e elevada quantidade de resíduos gerados ao longo da cadeia construtiva (YUAN, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2014; KERN *et al.*, 2015).

Sabe-se da relevância dos resíduos sólidos gerados em um canteiro de obra, tanto pelos grandes volumes que representam, como pelos impactos que causam, principalmente ao serem destinados em locais inadequados. Ademais, a disposição dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em áreas ilegais traz uma série de impactos ambientais, como a poluição visual e o estreitamento de leitos dos rios, ocasionando enchentes, poluição das águas e solos, indução à deposição de outros tipos de rejeitos e atrativo para vetores de doenças (PAZ e SANTOS, 2016).

A Comissão Europeia pronunciou em 2016 que grande parte da elevada quantidade de RCC gerada tem potencial para ser reciclada (EC, 2016). Neste aspecto, mais de 10 bilhões de toneladas de RCC são geradas anualmente em todo o mundo. De forma comparativa, a União Europeia contribui com mais de 800 milhões de toneladas (AJAYI *et al.*, 2016; FISHER e WERGE, 2009); e a China contribui com cerca de 2.300 milhões (ZHENG *et al.*, 2017).

Em relação aos Estados Unidos da América (EUA), a *United States Environmental Protection Agency* (EPA) publicou um estudo estimando que quase 550 milhões de toneladas de RCC foram gerados nos EUA no ano de 2015, mais do dobro da quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados no país no mesmo período (EPA, 2018), dos quais 75% dos RCC foram direcionadas para reuso (EPA, 2020).

A fim de definir diretrizes e responsabilidades relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, a gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC), também chamados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), é regulada no Brasil por meio da Lei Federal nº 12.305/2010.

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 gerados 79 milhões de RSU no país no ano de 2019 e desses, 72,7 milhões de toneladas foram coletadas (92%), o restante teve como destino vazadouros e aterros controlados. Em relação aos RCC, no mesmo ano a quantidade coletada foi de 44,5 milhões de toneladas, representando 61% do RSU coletado no Brasil (ABRELPE, 2020).

Não existem dados oficiais que indicam a geração anual de RCC no Brasil. Ao realizar estudos, alguns autores estimam que o volume de RCC represente de 50 a 70% do total dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados no país (PINTO, 1999; ANGULO *et al.*, 2011; BRASILEIRO, 2105). O índice elevado é decorrente do tratamento inadequado desses resíduos e de seu descarte incorreto (SCHAMNE, 2016).

No que tange à destinação de resíduos, o conceito de sustentabilidade está intimamente ligado à ideia de que é necessária a conservação dos recursos naturais (BRASILEIRO, 2015), seja para a manutenção do equilíbrio do meio ambiente, dos fatores climáticos e preservação da biodiversidade, seja para a própria manutenção da vida e continuidade das gerações futuras. Neste aspecto, os problemas ocasionados pela degradação ambiental e a perda da qualidade de vida, agravam-se com a instalação e operação de grandes empreendimentos, como é o caso de um terminal portuário (MAIA *et al.*, 2010).

Empreendimentos de infraestrutura, como obras portuárias, demandam a utilização maciça de matérias-primas e insumos, 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. Além disso, não se pode deixar de mencionar a dificuldade de se encontrar mão de obra com consciência ambiental, especialmente em virtude da tradição das técnicas

construtivas que acabam sendo desenvolvidas nos canteiros de obras de forma manual, ou, mesmo, a resistência para a capacitação dos colaboradores nesta área.

Dentro deste 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 menos poluente e possuir maior capacidade de carga, manutenção mais barata e maior vida útil (COLAVITE e KONISHI, 2015), não há como se ignorar a geração de RCC e sua respectiva gestão. Estes, quando realizados de forma responsável, com planejamento e boas práticas, são capazes de proporcionar melhor qualidade de vida e benefícios sócio ambientais para a cidade e a região onde executada.

Nas últimas décadas, as atenções estão sendo voltadas para os impactos ambientais negativos decorrentes das construções e operações portuárias (DI VAIO *et al.*, 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, todavia, podem ser adotadas técnicas e estratégias de planejamento a longo prazo que visam à destinação mais nobre para estes resíduos, sem se olvidar de sua viabilidade econômica.

Além da importância da destinação correta dos resíduos gerados, incluindo o estudo de sua logística de coleta, que tem como objetivo compreender o tipo e a quantidade de resíduos que a obra irá gerar para definir o melhor acondicionamento e armazenamento desses resíduos (NAGALLI *et. al.*, 2020), tornam-se imprescindíveis ações que visem à sua redução diretamente na fonte, ou seja, nos próprios canteiros de obras. Resíduos inertes de construção e demolição podem ser reciclados, utilizados como agregados junto às matérias primas da construção civil, com potencialidade de utilização em pavimentação, misturas asfálticas, argamassa, concreto e tijolos, dentre outros (EPA, 2020).

Quando somadas, as ações de adequar a destinação desses resíduos podem contribuir significativamente para a redução dos impactos da atividade construtiva no meio ambiente (SOUZA, 2004). Após estudos efetuados em uma obra portuária,

Geraldo Filho e Nagalli (2020) observaram que parte considerável dos resíduos da construção gerados apresentaram potencial de serem reutilizados do próprio processo executivo.

Feitas estas considerações, e constatada a escassez de literatura sobre o tema, o que acarreta grande dificuldade de se padronizar técnicas e traçar diretrizes mínimas para execução de obras portuárias, torna-se necessário trazer a questão ao debate, levantando-se as considerações pertinentes. Razão pela qual o presente trabalho reflete a importância de estudos sobre RCC de obras portuárias.

A fim de avaliar criticamente o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção de uma obra portuária, foi realizado o acompanhamento por 20 meses da gestão dos RCC provenientes de obra no Porto Dom Pedro II, localizado no município de Paranaguá – PR.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar criticamente o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção de uma obra portuária.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Constituem-se objetivos específicos deste trabalho:

- Avaliar o processo de triagem de resíduos de obra portuária ao longo das etapas de segregação, acondicionamento, reaproveitamento e destinação dos resíduos;
- Caracterizar o processo de gestão dos resíduos sólidos de obra portuária quanto aos agentes envolvidos, a origem, ao tipo, à quantidade, à taxa de geração, ao reuso e à destinação final;
- Definir a proporção de resíduos orgânicos, ambulatoriais, contaminados, de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e de copos plásticos em comparação à quantidade mensal de funcionários na obra;

- Definir a proporção de resíduos orgânicos, contaminados, metálicos e de madeiras em comparação à estimativa de área de obra construída mensalmente;
- Verificar as condições de trabalho que geraram maior quantidade de resíduos sólidos na obra;
- Definir a proporção de camisas metálicas e de estacas de concreto centrifugadas que foram construídas com resíduos das matérias-primas no processo de cravação de estacas;
- Avaliar as proporções de resíduos gerados no empreendimento e definir os indicadores de geração de resíduos (KPI - *Key Performance Indicator*), os quais poderão embasar o planejamento da geração de resíduos de futuras obras portuárias.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os resíduos da construção civil decorrem de perdas e desperdícios, demolição, reforma e reparos de obras. Sua geração é elevada e, segundo Guerra (2009), a falta de planejamento em todas as fases de um canteiro de obra, desde sua implantação à desmobilização, dificulta a manutenção de um sistema contínuo de gerenciamento e a possibilidade de reduzir o volume de RCC gerado. Como resultado tem-se o aumento dos custos para o gerenciamento e a redução do desempenho ambiental na empresa (MENDIS *et al.*, 2013).

Dois dos objetivos da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), por intermédio de sua agenda 2030, estão diretamente ligados à necessidade de gerenciamento dos resíduos provenientes de construção e à precisão de tornar as indústrias mais sustentáveis. São eles:

- 9.4: Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis [...];
- 12.5: Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

Embora haja substancial embasamento técnico e diretrizes legais que orientam o gerenciamento dos RCC, a realidade demonstra que muitos são os

obstáculos à sua implementação, tais como: projetos sem especificações, falta de mão-de-obra especializada, utilização de materiais com qualidade inferior à desejada, falta de especificação para armazenamento dos materiais, falta de fiscalização do processo construtivo e falta de gestão de resíduos. De acordo com Oliveira (2008), os RCC possuem características peculiares, podendo variar sensivelmente em função do local da geração, da tecnologia aplicada na construção, das variantes referentes ao material aplicado durante a obra, da qualidade do projeto e da mão de obra utilizada.

Além disso, Acciaro (2015) cita a necessidade da realização de pesquisas em gestão portuária, a fim de desenvolver ainda mais os conceitos construtivos de obras portuárias, para validar comparações entre as diferentes construções de portos. Dentro deste contexto, percebe-se a necessidade de estudar, definir e compreender parâmetros e indicadores relacionados aos resíduos provenientes de obras portuárias, através de estudos de caso.

Conhecer o índice de resíduos gerados é de suma importância para definir a logística de resíduos e, conseqüentemente, a estratégia da gestão de resíduos (NAGALLI, 2014). Soma-se isso à grande taxa de geração de resíduos sólidos da construção civil e à escassez de fontes de informação referentes aos resíduos gerados em obras portuárias, constatada em revisão bibliográfica realizada, justifica-se, então, o desenvolvimento da presente pesquisa.

Esta pesquisa contribui como embasamento para futuras obras portuárias, norteando o planejamento da geração de resíduos e o dimensionamento de centrais de RCC, através dos índices de geração de resíduos. Em relação ao conhecimento, este estudo de caso gera uma aproximação entre o meio acadêmico e obra de engenharia, fornecendo conteúdo sobre os resíduos gerados ao longo da construção de obras portuárias.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Silva e Menezes (2005), uma pesquisa pode ser classificada de quatro maneiras distintas: através de sua natureza, pela forma de abordagem do problema, pelos objetivos da pesquisa e através dos procedimentos técnicos.

Seguindo a classificação proposta, do ponto de vista da sua natureza, esta pesquisa se caracteriza como pesquisa aplicada, com o objetivo de gerar conhecimento para aplicação prática, visando a solução de problemas específicos. Quanto à forma de abordagem, este trabalho é caracterizado como quali-quantitativo, visto que os aspectos qualitativos das ações de tratamento do RCC foram avaliados e que os resultados foram traduzidos em números para serem analisados. Em relação ao seu objetivo, esta pesquisa é classificada como exploratória, visando o esclarecimento do tema da pesquisa, proporcionando maior aproximação e familiaridade com o problema estudado. Já quanto aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é caracterizada como um Estudo de Caso, visando estudar profundamente o objeto de estudo e permitindo seu detalhado conhecimento.

A pesquisa bibliográfica efetuada no decorrer deste estudo de caso auxiliou na identificação dos principais conceitos relacionados aos Resíduos Sólidos da Construção Civil, bem como, na gestão e no gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (RCC), contribuindo para a caracterização dos resíduos provenientes da construção de obras portuárias. A metodologia consistiu na análise do processo de triagem dos resíduos provenientes da obra portuária estudada nesta dissertação, e na caracterização do processo de gestão desses resíduos, levando em consideração os agentes envolvidos, a origem dos resíduos e sua taxa de geração, a possibilidade de reuso dos resíduos estudados e a destinação final.

No decorrer da análise, foram definidas as proporções e as condições de trabalho que incidiram maior influência na geração de resíduos, a fim de identificar os índices de geração de resíduos e qualificar o processo de gestão dos resíduos sólidos da obra portuária estudada. De posse dos dados consolidados, foi possível avaliar criticamente o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção da obra do Porto Dom Pedro II, em Paranaguá – PR.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação será composta por 5 capítulos, estruturados da seguinte forma:

Capítulo 1: apresenta informações relevantes para a contextualização do problema a ser estudado, introduzindo o leitor ao tema abordado, com foco nos objetivos propostos, na justificativa do estudo e nos procedimentos metodológicos adotados.

Capítulo 2: apresenta referencial teórico utilizado como comparação para a caracterização do objeto de pesquisa, levando em consideração os conceitos relacionados aos Resíduos Sólidos da Construção Civil, com foco na gestão e no gerenciamento de resíduos provenientes da construção de obras portuárias.

Capítulo 3: apresenta as ferramentas e métodos que serão utilizados no estudo, a fim de compartilhar embasamento teórico para a caracterização e qualificação do processo de gestão dos resíduos sólidos de obra portuária.

Capítulo 4: contempla o diagnóstico dos resíduos sólidos do empreendimento estudado, através da coleta de dados e da implantação das ferramentas de análise escolhidas.

Capítulo 5: são expostas as conclusões e recomendações do estudo, através da síntese e discussão dos resultados. Também são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

1.6 DELIMITAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA

Este projeto de pesquisa delimitou-se em colher informações e avaliar criticamente o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção da obra no Porto Dom Pedro II, entre novembro de 2017 e julho de 2019; bem como avaliar as proporções de resíduos gerados no empreendimento para definir os indicadores de geração dos resíduos gerados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Ao longo da história do desenvolvimento da sociedade e, com ela, da atividade industrial, pouca ou nenhuma atenção era dada aos resíduos decorrentes da produção dos inúmeros produtos e obras já desenvolvidos.

O foco dos produtores estava voltado à maior produção de determinado bem de consumo, independentemente do impacto ambiental causado pelo uso de matérias primas, da destinação dos resíduos de sua produção, ou mesmo do próprio produto após o transcurso de sua vida útil. Este panorama se refletiu na atividade de construção civil de modo geral, que buscou aperfeiçoar sua técnica tão somente em vistas da produtividade e economia, sem se importar com a escassez dos recursos naturais ou com a poluição ambiental.

No mundo contemporâneo, este pensamento vem sendo substituído por um olhar mais amplo, com atenção à proteção do meio ambiente. Essa substituição se dá por sua importância intrínseca ou pela percepção de que os recursos naturais são limitados e, como consequência, de que a continuidade dos processos poluidores tornará inviável a vida humana na posteridade. Dentro desta perspectiva, uma importante questão que se revela é a destinação dos resíduos decorrentes das atividades produtivas, sobretudo, aqueles resultantes da construção civil e que são mais evidenciados nas grandes obras de engenharia.

Este capítulo apresenta um panorama geral sobre Resíduos Sólidos, tendo como foco principal os conceitos relacionados aos Resíduos Sólidos da Construção Civil. O referencial teórico apresentado aborda a origem, a classificação e os impactos ambientais causados pelos RCC, com ênfase na gestão e no gerenciamento dos resíduos provenientes da construção de obras portuárias.

2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Praticamente todas as atividades humanas produzem algum tipo de resíduo sólido, que pode variar em relação à característica, quantidade, função ou composição (BIJU, 2015). A Política Nacional de Resíduos Sólidos define resíduos sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe

proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Já a Norma Brasileira (NBR) 10.004 de 2004, constante da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) os define como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Para Nagalli (2014), existem vários critérios de classificação dos resíduos, dependendo do aspecto que está sendo considerado, como, por exemplo, forma, constituição, periculosidade, destinação, acondicionamento e estado físico. Não obstante, outras classificações podem ser utilizadas, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios para a classificação de resíduos sólidos

Critério de classificação	Classe
Origem, fonte e local de produção	Doméstico, residencial ou domiciliar, comercial, hospitalar, especial, radioativo, industrial, público.
Tratabilidade	Biodegradável, descartável, reciclável
Grau de biodegradabilidade	Altamente degradável, moderadamente degradável, lentamente degradável, não degradável
Padrão econômico da fonte de produção	Alto, médio e baixo
Possibilidade de reagir	Inerte, orgânico e reativo
Economia	Aproveitável, inaproveitável e recuperável
Possibilidade de incineração	Combustível e não combustível
Possibilidade e recuperação energética	Alta, média e baixa
Ponto de vista sanitário	Contaminado e não contaminado
Natureza física	Seco e molhado
Composição química	Matéria orgânica e inorgânica
Periculosidade	Perigosos, não inertes e inertes

Fonte: Adaptado de Poletto (2010)

Segundo John (2000), os resíduos podem ser também classificados pela sua origem: resíduos pós-consumo, resultantes do consumo de um bem, os quais são gerados excessivamente e sua reciclagem depende do sistema de coleta; e resíduos industriais, resultantes de uma atividade produtiva, com geração mais concentrada e de fácil recuperação.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), através da NBR 10.004, classifica os resíduos da seguinte forma:

- Resíduos perigosos (classe I): resíduos os quais apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- Resíduos não perigosos (classe II): os quais são divididos em Não Inertes (Classe II A), podendo apresentar as seguintes propriedades: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água; e Inertes (Classe II B), resíduos que, quando em contato com água, não apresentam transformações físicas, químicas ou biológicas.

Ainda segundo a NBR 10.004 de 2004, os resíduos sólidos podem ser classificados segundo o processo ou a atividade que originou os resíduos, juntamente com seus componentes e características; e através da comparação dos constituintes dos resíduos com outras substâncias as quais os impactos à saúde e ao meio ambiente são conhecidos (ABNT, 2004).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) engloba “princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal [...], com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos” e, objetivando principalmente proteção à saúde e ao meio ambiente (BRASIL, 2010), classifica os resíduos sólidos conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação de resíduos sólidos pela PNRS

(continua)

Critério de Classificação		
I – Quanto à origem		
a)	Resíduos domiciliares	Originários de atividades domésticas em residências urbanas.
b)	Resíduos de limpeza urbana	Originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
c)	Resíduos sólidos urbanos	Os resíduos englobados nas alíneas “a” e “b”.
d)	Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”.

Quadro 3 – Classificação de resíduos sólidos pela PNRS**(conclusão)**

e)	Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”.
f)	Resíduos industriais	Gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
g)	Resíduos de serviços de saúde	Gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária).
h)	Resíduos da construção civil	Gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
i)	Resíduos agrossilvopastoris	Gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
j)	Resíduos de serviços de transportes	Originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
k)	Resíduos de mineração	Gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.
II - Quanto à periculosidade		
a)	Resíduos perigosos	Aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.
b)	Resíduos não perigosos	Aqueles não enquadrados na alínea “a”.
Obs: os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I deste quando, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.		

Fonte: Adaptado de Brasil (2010)

Dentro da classificação dos Resíduos Sólidos pela PNRS, na alínea “h” estão os resíduos de maior importância para este trabalho, os Resíduos da Construção Civil (RCC). Em relação aos RCC, existe classificação específica para estes resíduos, que será apresentada no item 2.2.

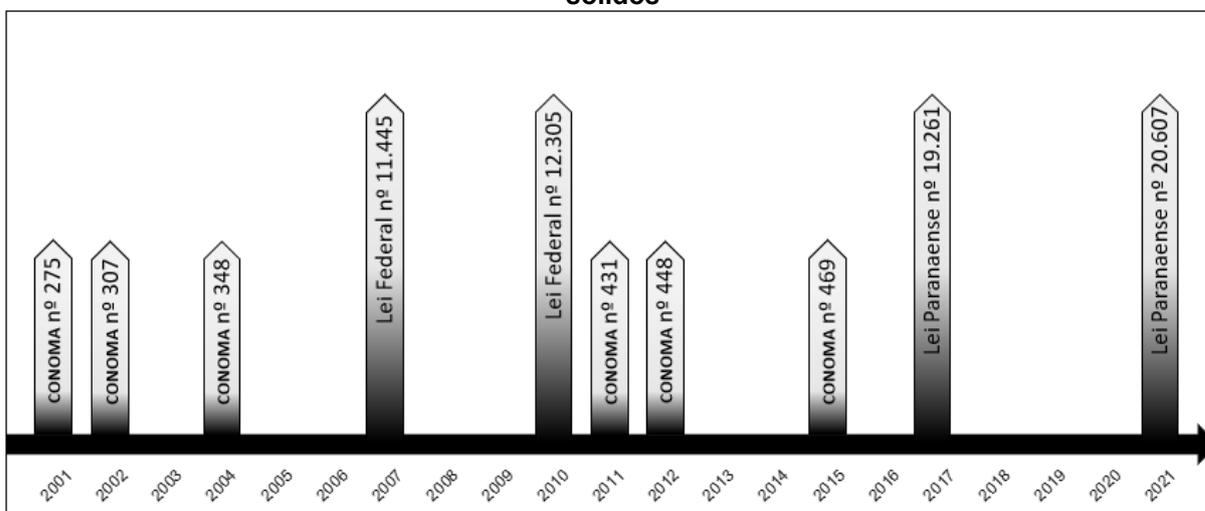
2.1.1 Políticas Públicas

Devido à importância da gestão e do controle da geração de resíduos sólidos, foram criadas diversas Leis, Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e Normas Técnicas para abranger todos os assuntos relacionados aos resíduos sólidos gerados no Brasil. Dentre as políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos, vale destacar:

- Resolução CONAMA nº 275/2001: Código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva;
- Resolução CONAMA nº 307/2002: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da Construção Civil;
- Resoluções CONAMA nº 348/2004, nº 431/2011, nº 448/2012 e nº 469/2015: Alteram e complementam a Resolução CONAMA nº 307/2002;
- Lei Federal nº 11.445/2007: Diretrizes nacionais para o Saneamento Básico;
- Lei Federal nº 12.305/2010¹: Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Lei Paranaense nº 19.261/2017: Programa Estadual de Resíduos Sólidos - Paraná Resíduos; e
- Lei Paranaense nº 20.607/2021: Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Paraná.

A linha do tempo com as principais Leis Federais, Estaduais e Resoluções relacionadas à resíduos sólidos dos últimos 20 anos está representada na Figura 1.

Figura 1 – Linha do tempo - Leis Federais, Estaduais e Resoluções relacionadas à resíduos sólidos



Fonte: Autoria própria (2021)

Ao longo das últimas décadas, também foram estabelecidas Normas Brasileiras (NBR) para orientar e fornecer subsídios em relação aos resíduos sólidos gerados, dentre elas vale destacar:

¹ A Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020 atualiza a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, apenas para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A alteração não tem influência nesta pesquisa.

- NBR 8418/83 e 10157/87: Procedimento de aterros de resíduos perigosos;
- NBR 13896/97: Procedimento de aterros de resíduos não perigosos;
- NBR 11174/90 e 8419/92: Armazenamento de resíduos classes II e III;
- NBR 12235/92: Armazenamento de resíduos perigosos;
- NBR 10004/04: Classificação de Resíduos Sólidos;
- NBR 10005/04 e 10006/04: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado e solubilizado de resíduos sólidos;
- NBR 10007/04: Amostragem de Resíduos Sólidos;
- NBR 15112/04, 15113/04 e 15114/04: Resíduos Sólidos da Construção Civil;
- NBR 15115/04 e 15116/04: Agregados reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil; e
- NBR 13221/07: Transporte terrestre de resíduos.

De acordo com Biju (2015), o desenvolvimento industrial acarretou a utilização excessiva de materiais descartáveis, ocasionando maior geração de resíduos sólidos e, conseqüentemente, maior contaminação do meio ambiente. A fim de definir diretrizes e responsabilidades relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, foram estabelecidas políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos gerados no país.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O termo RCC (Resíduos da Construção Civil) é geralmente utilizado para se referir aos resíduos sólidos gerados no setor de construção civil (YUAN e SHEN, 2011). É comum encontrar na literatura o termo Resíduos de Construção e Demolição (RCD), tradução livre de *Construction and Demolition Waste* (CDW). Para Shen *et al.* (2004), mais especificamente, o termo é definido como os resíduos que resultam das atividades de construção, reforma e demolição, incluindo a escavação ou terraplenagem e obras rodoviárias.

Com o advento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, os Resíduos da Construção Civil tiveram sua classificação própria, dentre os quais se incluem os RCC, não mais estando dentro da classificação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). A Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente apresenta, em seu artigo 2º, a definição de RCC mais utilizada nacionalmente, tal como:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2002).

Os RCC representam a soma dos resíduos gerados durante a construção e/ou demolição de empreendimentos, e define os RCC gerados durante a construção como a parte comprada dos materiais de construção não incorporados à estrutura, ou seja, materiais excedentes (EPA, 2018). Morand (2016) considera que os resíduos de demolição são gerados em volumes substancialmente maiores e possuem variabilidade quanto à sua composição, compreendendo todos os resíduos que resultam de edifícios e outras estruturas, podem ser gerados também a partir de desastres naturais.

A composição destes resíduos é resultado da época em que a edificação foi construída, tipo de estrutura, método e equipamentos utilizados para a sua demolição. Conseqüentemente, a composição dos RCC gerados em uma mesma demolição pode variar de acordo com a construtora que a realiza, devido principalmente à qualidade da mão de obra (DA PAZ, 2019).

Os RCC gerados em canteiros de obras constituem-se principalmente de materiais inertes, sendo sua composição afetada por diversos fatores, incluindo as matérias-primas e materiais de construção utilizados, os processos construtivos, as práticas de construção e demolição, dentre outros (NAGALLI, 2014). Embora os RCC sejam compostos de material inerte, eles têm a tendência de estarem contaminados por substâncias perigosas, como chumbo, tintas e vernizes, de modo a dificultar sua separação e reciclagem (TEIXEIRA, 2013).

2.2.1 Origem dos Resíduos da Construção Civil

O início da geração de Resíduos da Construção Civil (RCC) pode ser considerado anterior ao início da construção de uma obra, visto que a produção dos insumos comumente utilizados na construção civil além de consumir recursos naturais, produzem diversos tipos de resíduos de produção (SANTOS, 2008).

Os RCC podem ser originados a partir de perdas de materiais e desperdícios gerados durante o processo de construção do empreendimento, durante a manutenção e/ou reformas da construção e, também, no processo de demolição da construção (MATIAS, 2020). Segundo John e Agopyan (2000), ao reduzir a quantidade de material gerado e incorporado na obra durante o processo de construção, a geração de resíduos durante os processos de manutenção/reforma e de demolição são também reduzidos.

Para John (2000), existe ainda a perda de material incorporada ao empreendimento, isso ocorre em construções que, após finalizadas, se mostram mais robustas que o previsto em projeto executivo, acarretando medidas superiores ao planejado e, conseqüentemente, material perdido desnecessariamente.

Dessa forma, os RCC podem ser gerados tanto por falhas no processo de construção, quanto por problemas na fase de elaboração dos projetos executivos. Adicionalmente, os resíduos podem ser provenientes da baixa qualidade dos materiais utilizados, de perdas de materiais incorretamente armazenados e transportados e por falta de mão-de-obra qualificada (PINTO, 1999; SCHNEIDER, 2003). Além de métodos construtivos e mão-de-obra qualificada, Bertol *et al.* (2013) considera em sua análise que a utilização das certificações ISO9001 (*International Organization for Standardization*) e PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat) também influencia diretamente na quantidade de resíduos gerados, visto que obras certificadas tendem a ter melhor gestão de resíduos.

Para Nagalli (2014), em paralelo aos resíduos de construção e demolição propriamente ditos, encontram-se os resíduos de Equipamentos de Proteção Individual (EPI). A Norma Regulamentadora (NR) 06 considera EPI como “todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho” (Ministério do Trabalho - MTb, 2018). Pelo fato de esses equipamentos serem necessários em diversas atividades do canteiro de obras, é difícil eliminar os resíduos provenientes desse segmento. Os EPIs são comumente contaminados com materiais perigosos, como óleos e graxas, assim sendo, é necessário adotar um sistema de gerenciamento para esses resíduos (NAGALLI, 2014).

Em obras de grande porte, a geração de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) também deve ser considerada. De acordo com a Resolução CONAMA nº 358/2005, RSS são os resíduos provenientes de:

Todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico *in vitro*; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, entre outros similares (MMA, 2005).

Assim sendo, os RSS são todos os resíduos provenientes da saúde, que necessitam de procedimentos específicos para seu manejo, exigindo ou não tratamentos antes de sua correta destinação (MMA, 2005). Segundo Pinto (1999), os empreendedores do ramo da construção civil devem estudar e reconhecer seus próprios índices de geração de resíduos, a fim de investir em melhorias para racionalizar o uso de recursos em seus processos executivos.

2.2.2 Classificação de Resíduos da Construção Civil

Os empreendedores da indústria da construção civil precisam prever gastos futuros com gestão de resíduos, necessitando assim de um prognóstico dos RCC eficaz e preciso (BERTOL, 2013). Dessa forma, conhecer a classificação do material que será utilizado, bem como suas características, é fundamental para a redução de desperdícios e para a reutilização dos resíduos.

No âmbito geral da construção civil, a grande maioria dos RCC apresenta em sua composição componentes minerais e quimicamente inertes. Seguindo a classificação da NBR 10.004/04, os RCC são Não Perigosos e Inertes (Classe IIB), conforme Quadro 3. Excluem-se dessa classificação os materiais Perigosos (Classe I) como tintas, solventes e óleos e os materiais Não Perigosos contaminados por substâncias que apresentem características de periculosidade.

Quadro 4 – Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos pela NBR 10.004/04

Código de Identificação	Descrição do Resíduo	Código de Identificação	Descrição do Resíduo
A001	Resíduo de restaurante (restos de alimentos)	A009	Resíduo de madeira
A004	Sucata de metais	A010	Resíduo de materiais têxteis
A005	Sucata de metais não ferrosos (latão etc.)	A011	Resíduos de minerais não-metálicos
A006	Resíduo de papel e papelão	A016	Areia de fundição
A007	Resíduos de plástico polimerizado	A024	Bagaço de cana
A008	Resíduos de borracha	A099	Outros resíduos não perigosos

Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

A seu turno, a classificação específica para os RCC é dada pela Resolução CONAMA nº 307/2002, a qual identifica os RCC em quatro classes de resíduos, conforme o Quadro 4. Ao analisar o Quadro 4, observa-se que o CONAMA classifica os RCC com base no destino do material.

Quadro 5 – Classificação dos RCC de acordo com as Resoluções CONAMA nº 307/2002, nº 348/2004, nº 431/2011, nº 448/2012 e nº 469/2015

Classe	Definição
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: tijolos, concreto, argamassa, blocos, telhas, placas de revestimentos, tubos, meios-fios, solos provenientes de terraplanagem etc.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação.
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos que contenham amianto e outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Adaptado de MMA (2002)

A classificação do CONAMA simplifica a aplicação do material na construção do empreendimento, mas não avalia individualmente cada material, visto que um resíduo considerado reciclável pode entrar em contato com resíduo de outra classificação e, assim, deixando de ser potencialmente reciclável. Dessa forma, a

classificação descrita pode induzir o agente responsável a realizar incorretamente a manipulação e a destinação dos resíduos, podendo contaminar locais previamente preparados para receber materiais inertes (NAGALLI, 2014).

Em seu estudo, Freitas (2009) considera que a correta classificação dos resíduos provenientes da Construção Civil viabiliza que o gerador identifique a melhor solução de separação e destinação para os RCC gerados em seu empreendimento. Para Silva (2014), é importante também verificar a fonte geradora do RCC, visto que determinar a classificação de um resíduo da Construção Civil permite a compreensão do material que será utilizado.

Dessa forma, vista a importância da classificação de RCC e a necessidade de padronizar as informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) publicou em 2012 a Instrução Normativa nº 13, contemplando uma lista completa dos resíduos sólidos perigosos e não perigosos, permitindo maior eficácia ao gerenciamento de resíduos sólidos. Em sua Instrução Normativa, o IBAMA informou também que fará atualizações sempre que necessário na lista de resíduos sólidos (IBAMA, 2012).

A lista constante da Instrução Normativa nº 13 segue a classificação dos resíduos conforme a NBR 10.004 de 2004, já citada anteriormente, ou seja, os resíduos são classificados a partir do processo ou atividade que os originou, juntamente com seus componentes e características; e em função da comparação de seus componentes com outras substâncias as quais os impactos à saúde e ao meio ambiente são conhecidos (ABNT, 2004; IBAMA, 2012).

Pelo fato de a lista referida contemplar quantidade elevada de resíduos, os resíduos são separados em códigos estabelecidos de acordo com sua fonte geradora e através de seus materiais constituintes. Os resíduos indicados na lista com asterisco são classificados como perigosos pela sua origem, ou por suas características apresentarem significativo risco à saúde e/ou ao meio ambiente (IBAMA, 2012).

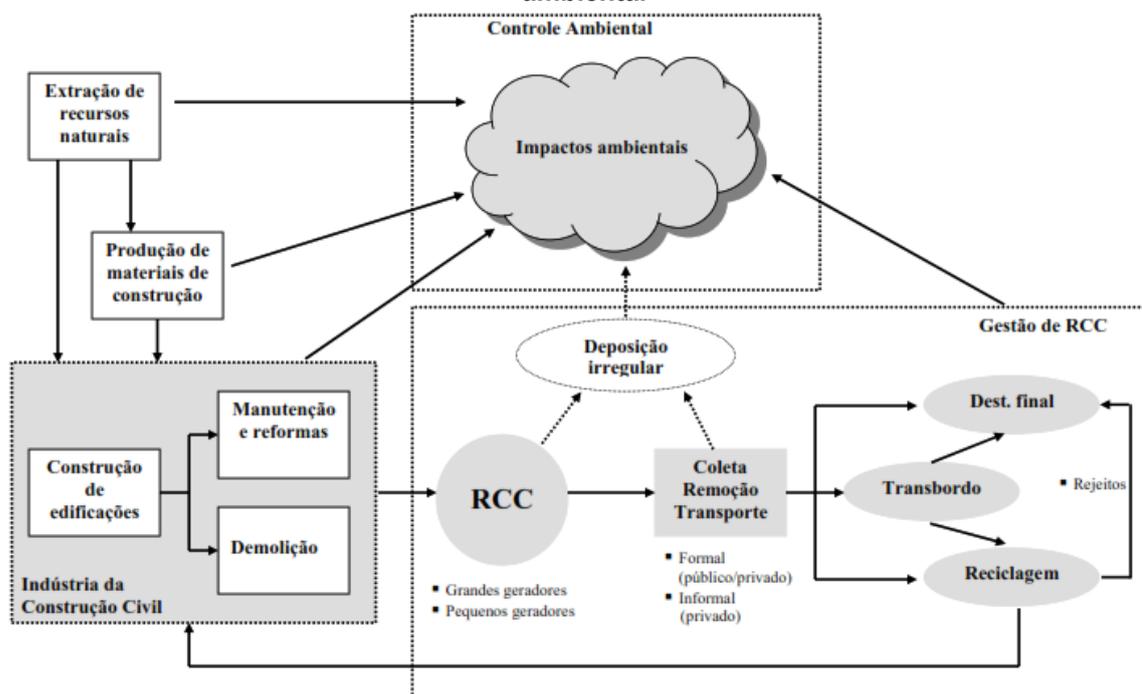
2.2.3 Impacto dos Resíduos da Construção Civil

É reconhecida a importância da construção civil para o desenvolvimento econômico e social do país, visto que essa indústria agrega significativa quantidade de empregos diretos e indiretos no país e contribui com diversos outros setores da

economia, através da utilização de materiais, equipamentos e serviços no processo construtivo (GULARTE *et al.*, 2017), por outro lado, a construção civil é considerada uma indústria que gera impactos ambientais, altera a paisagem local, consome recursos naturais e contribui para a geração de resíduos (YUAN *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2014).

De acordo com Valença (2008), não somente o processo executivo do setor da Construção Civil gera impactos ambientais, Figura 2. Os impactos são iniciados já na utilização de matérias-primas, visto que as reservas desses materiais estão se esgotando e, de forma complementar, há o processo de extração de matéria-prima com alto consumo de energia, o transporte dos insumos e o processamento dos materiais.

Figura 2 – Indústria da Construção Civil, gestão de RCC e fontes geradoras de impactos ambiental



Fonte: Valença (2008)

Pinto (1999) estima que o volume de RCC gerado no Brasil pode chegar a 70% do total de RSU gerados. Este elevado índice é decorrente do tratamento inadequado desses resíduos e de seu descarte incorreto, causando sobrecarga no serviço de limpeza pública e aumentando os custos da administração municipal (FEIJÃO NETO, 2010; SCHAMNE, 2016).

Em relação à deposição irregular dos RCC, existem construtoras que não investem em gestão dos resíduos provenientes de seus empreendimentos e optam por descartá-los em áreas ilegais próximas às suas obras. Adicionalmente, a incorreta e ilegal disposição de resíduos provenientes da construção civil acarreta poluição visual, estreitamento de rios, enchentes, contaminação dos recursos naturais e, ainda, pode servir como atrativo de vetores e doenças (PAZ e SANTOS, 2016).

Como visto anteriormente nas classificações dos RCC, no âmbito geral, a maioria dos resíduos provenientes da Construção Civil apresentam em sua composição componentes classificados pela NBR 10.004/04 como Não Perigosos e Inertes. Porém, em alguns casos, os RCC podem conter materiais perigosos (tintas, solventes e óleos) ou estar em contato e, conseqüentemente, contaminados por substâncias que apresentem características de periculosidade (ABNT, 2004).

De acordo com Biju (2015), por se tratar em sua maioria de materiais inertes, não é comum investigações de emissão de gases e lixiviados em aterros de construção civil. Porém, foram feitos estudos por Townsend e Xu (apud BIJU, 2015, p. 37) que mostram a geração de ácido sulfúrico nesses aterros, provocando cheiro forte, irritação nos olhos, dores no corpo e, até mesmo, casos de asma. Dessa forma, os RCC devem ser destinados corretamente, de acordo com sua classificação e seguindo as Normas Técnicas específicas.

Nagalli (2014) considera que, quando possível, os resíduos devem ser submetidos à processos que lhes deem condições de serem usados como matéria-prima ou produto, através de estratégias de reciclagem, reutilização e beneficiamento dos resíduos, visto que, para o autor, são inúmeros os impactos diretos e indiretos que os RCC podem acarretar em uma obra, tais como: desperdício de material, perda da qualidade do resíduo, consumo desnecessário de recursos naturais, proliferação de vetores/doenças, acidentes de trabalho, escassez de espaço, bloqueio de drenagens, contaminação do meio ambiente e supressão vegetal.

Para Freitas (2009), implementar instalações aptas para o recebimento, a separação e o processamento dos RCC proporcionam aos municípios benefícios ambientais e socioeconômicos, além de diminuir grande parte dos descartes incorretos.

2.3 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil, por suas características, produz enorme quantidade de resíduos, seja em obras de pequeno porte, seja em empreendimentos mais expressivos. Como o próprio nome sugere, os RCC decorrentes desta atividade são inerentes a esta, e, portanto, necessitam de especial atenção no que diz respeito à sua geração (ou possibilidade de não geração), reutilização, reciclagem e destinação final, o que se dá por meio de uma estratégia de gestão adequada.

A Resolução CONAMA nº 307/2002 e o Plano Nacional dos Resíduos Sólidos estabelecem uma ordem prioritária no que concerne a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos, conforme Figura 3.

Figura 3 – Prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos



Fonte: Adaptado de Matias (2020)

Neste aspecto, torna-se necessário diferenciar dois importantes conceitos: gestão e gerenciamento. Gestão é um processo amplo composto por políticas públicas, leis e regulamentos que balizam e direcionam a atuação dos agentes do setor. Gerenciamento, por sua vez, se ocupa das atividades operacionais cotidianas e do trato direto com os resíduos.

O gerenciamento aborda as ações desenvolvidas por empreendedores e construtores no sentido de antever, controlar e gerir a manipulação dos resíduos de uma obra (NAGALLI, 2014). Assim, com base nas diretrizes da gestão dos RCC, sistema integrado de gerenciamento de resíduos em obras tem como objetivo a

redução, reutilização e reciclagem dos resíduos, o que inclui o planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos, programando as atividades necessárias para cumprir as etapas previstas no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC). O referido PGRCC encontra previsão legal na Resolução nº 307/2002 que, em seu artigo 8º, estabelece que:

Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil serão elaborados e implementados pelos grandes geradores e terão como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos (MMA, 2002).

Ainda, o diploma normativo estabelece que os PGRCC deverão contemplar as seguintes etapas: caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação (MMA, 2002). Já a NBR 11.174 cita as condições mínimas necessárias para o armazenamento de resíduos não inertes (classe II) e inertes (classe III), a fim de garantir proteção socioambiental. Adicionalmente, a norma recomenda que seja feito registro da movimentação e do acondicionamento dos resíduos, através de fichas de controle (ABNT, 1990). Na Figura 4 estão apresentadas as orientações da NBR 11.174 para o armazenamento dos resíduos de Classe II e III.

Figura 4 – Orientações da NBR 11.174 para o armazenamento dos resíduos de Classe II e III



Fonte: Adaptado de ABNT (1990)

De acordo com Lima (2012), as empresas de construção civil executam obras em locais distintos da cidade ao mesmo tempo, envolvem diversos fornecedores de materiais e utilizam mão de obra em grande quantidade, sendo geralmente de baixa qualificação. Além disso, as obras de reformas e demolição na maioria das vezes são realizadas por profissionais autônomos, tendo curta duração e realizadas em espaço reduzido para segregação e acondicionamento dos resíduos. Estas questões dificultam bastante a gestão adequada dos RCC.

Neste sentido, é necessário aperfeiçoar o modelo atual de gerenciamento de resíduos, buscando soluções que minimizem essas dificuldades, propiciem maior conscientização e adesão às práticas sustentáveis de gerenciamento pelas empresas, profissionais, clientes e demais pessoas envolvidas. Lima e Lima (2009) apresentam as seguintes vantagens para a gestão adequada de RCC nos canteiros de obras:

- Redução do volume de resíduos a descartar;
- Redução do consumo de matérias primas extraídas diretamente da natureza;
- Redução dos acidentes de trabalho;
- Redução do número de caçambas retiradas da obra;
- Melhoria na produtividade;
- Atendimento aos requisitos ambientais em programas como o PBQP-H, QUALIHAB (Programa da Qualidade da Construção Habitacional) e ISO 14.001; e
- Diferencial positivo na imagem da empresa junto ao público.

De acordo com Ajayi *et al.* (2017), uma série de fatores críticos devem ser considerados durante a execução de uma obra que poderá favorecer a redução da geração de RCC. Os autores apresentam que a redução da geração de resíduos começa a partir da etapa de projeto do edifício e do canteiro de obras, onde se deve realizar as atividades seguindo estritamente o projeto, evitando ao máximo realizar mudanças no *design*.

Além disso, deve ser dada máxima atenção à logística do canteiro de obras, que engloba o pedido, a compra e o movimento de materiais, da entrada ao local de armazenamento, de modo a prevenir o excesso de pedidos e o armazenamento de materiais de forma inadequada. A gestão logística eficaz também implica medidas para evitar o duplo manuseio, o que pode ser alcançado por meio da localização central das instalações de armazenamento de materiais e pela entrega apenas quando necessário (AJAYI *et al.*, 2017).

Segundo Novaes e Mourão (2008), para racionalizar a adoção dos procedimentos pelos operários, é fundamental:

- Definir os sistemas de transporte horizontal e vertical dos resíduos por classes;
- Definir os locais adequados para os tambores e caçambas; e
- Acondicionar os resíduos segregados de modo que possam ser transportados pela coleta seletiva.

Desta forma, o projeto do canteiro de obras é uma grande ferramenta da logística da construção, uma vez que define os fluxos físicos e de informações durante todo o empreendimento. Este *layout* leva em conta vários fatores, contemplando, o arranjo espacial, o transporte interno, recursos humanos, a circulação de máquinas e equipamentos, a carga e descarga de materiais e, ainda, a implantação do projeto de gerenciamento de resíduos sólidos.

Para Nagalli (2014), devem ser implementadas práticas que garantam o perfeito funcionamento de um sistema de gerenciamento de RCC, como por exemplo: identificação de indicadores (KPIs); adoção de procedimentos para otimizar o gerenciamento; auditorias internas e externas; *feedback* dos funcionários, entre outros.

De acordo com Angulo (2011), cabe às grandes geradoras de RCC, empresas privadas do ramo de construção civil, o desenvolvimento de seus próprios planos de gerenciamento de resíduos, incluindo triagem do material em seu canteiro de obras, uso de transportadoras licenciadas e destinação correta em locais próprios para manejo e reuso dos resíduos. Já em relação aos pequenos geradores de RCC, o autor cita a importância da implementação da rede de coleta e de destinação correta por parte do poder público (ANGULO, 2011).

Em relação aos EPIs, como o fornecimento desses equipamentos geralmente é escopo da construtora, é comum o controle de sua disponibilização para o funcionário, que costuma devolver o EPI antigo para receber o novo. Sendo assim, essa prática comumente aplicada para diminuir gastos relacionados ao empreendimento, também influencia positivamente na quantidade de resíduo gerado (ARTEN e NAGALLI, 2013).

2.3.1 Reciclagem de resíduos da construção civil

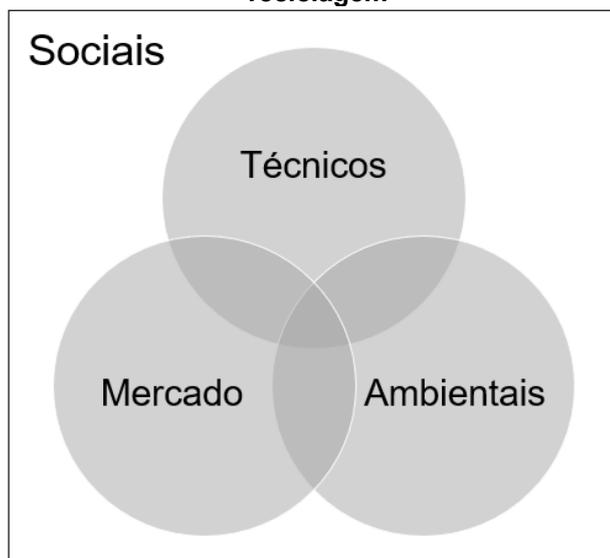
Para John (2000), a cadeia produtiva da construção civil é um setor de fácil reciclagem de materiais e, por mais que seja a maior recicladora da economia, ainda possui potencial para aumentar ainda mais o volume de materiais que recicla. Para o autor, existem três motivos que facilitam a reciclagem de RCC: o fato de o setor da construção civil ser um dos maiores consumidor de materiais, tendo assim, grandes possibilidades de reciclagem; a construção civil estar presente em todos os lugares, permitindo reciclagem local; e que a maioria dos componentes utilizados na construção civil são provenientes de produção simples, como agregados e aglomerantes, os quais não exigem pureza elevada em seu processo e podem facilmente serem produzidos a partir de reciclagem (JOHN, 2000).

Os resíduos provenientes das atividades de Construção Civil, frequentemente destinados à aterros ou locais incorretos, contemplam quantidade significativa de materiais com alto potencial de reciclagem e reutilização em seu próprio processo executivo, com a função de agregado (FREITAS, 2009).

Conforme a Resolução Conama nº 307/2002, os resíduos de Classe A – cerâmica, argamassa, concreto, pré-moldados e até mesmo provenientes de atividades de terraplenagem – devem ser beneficiados como agregados na própria obra ou corretamente destinados a aterros específicos para RCC de Classe A e os resíduos de Classe B – plástico, papel, papelão, metal, vidro, etc. – deverão ser reutilizados ou transportados para áreas de armazenamento específicas para esse tipo de resíduo. Desta forma, apenas os resíduos de Classe C ou D – resíduos ainda sem aplicações viáveis, resíduos perigosos e resíduos contaminados – não poderão ser reutilizados ou reciclados e deverão ser corretamente armazenados e destinados segundo as normas técnicas específicas (MMA, 2002).

De acordo com Zordan (1997), a reutilização dos RCC pode resultar em economia através da substituição do material e menor aquisição de insumos novos, diminuição dos problemas ambientais acarretados pela incorreta disposição de resíduos, e preservação do meio ambiente, com a menor extração de matéria-prima. Para John (2000), existem diversas e viáveis formas de aplicar os resíduos, a depender do desempenho técnico do material, da viabilidade econômica (mercado), e dos aspectos sociais e ambientais, conforme Figura 5.

Figura 5 – Combinação de aspectos necessários para garantir o sucesso de uma tecnologia de reciclagem



Fonte: Adaptado de John (2000)

A melhor aplicação possível para um resíduo se dá na intersecção de todos os aspectos: sociais, ambientais, técnicos e de mercado, mas nem sempre a reutilização de um resíduo consegue abranger todos os segmentos. Em relação aos aspectos ambientais, as alternativas de reciclagem devem gerar o menor impacto ambiental possível, levando em consideração todo o ciclo de vida desse material. Em se tratando da viabilidade técnica e econômica, a alternativa ideal de reciclagem é utilizar o resíduo como produto final ou matéria-prima, preferencialmente não distante de sua localização, diminuindo assim os gastos com transporte, energia e poluição e aumentando a vantagem competitiva desse produto no mercado (JOHN, 2000).

São diversos os insumos utilizados na construção civil, suas características dependem do tipo de atividade, das técnicas implementadas na construção, da região em que a obra foi implementada etc., dessa forma, o entulho proveniente deste setor é heterogêneo, dificultando a segregação de seus componentes e, automaticamente, desvalorizando sua qualidade e seu valor agregado. Por este motivo, se torna mais vantajoso utilizar os RCC como insumo alternativo em locais que não necessitam de resistência mecânica elevada (ZORDAN, 1997).

Já que a geração de resíduos é inevitável, técnicas de reciclagem dos resíduos são imprescindíveis para aumentar a sustentabilidade do processo, acarretando vantagens sociais através de geração de emprego, preservação ambiental, economia de energia e redução da poluição e de aterros necessários (JOHN, 2000). Para Freitas

(2009), é necessário desenvolver novos mercados e técnicas viáveis para melhorar a qualidade do insumo proveniente dos RCC, somente assim, será possível aumentar o número de materiais reciclados utilizados como matéria-prima na Construção Civil.

2.3.2 Processo de reciclagem de resíduos da construção civil

Para dar início ao processo de reciclagem dos resíduos provenientes da indústria da construção civil, é necessário realizar a análise da composição dos RCC, a fim de conhecer o percentual de cada tipo de resíduo gerado na obra antes de tratá-los e destiná-los (FREITAS, 2009).

Para Freitas (2009), classificar e quantificar os materiais separadamente é imprescindível para escolher o melhor tratamento, visando a reciclagem e a reutilização dos resíduos. Para Angulo (2011), os resíduos devem ser primeiramente identificados, quantificados e classificados dependendo de sua origem, viabilizando o plano de gerenciamento destes materiais. O autor sugere quantificar os resíduos através de “índices de geração dos RCC por unidade de área”.

De acordo com Freitas (2009), os RCC devem passar por “operações unitárias”, ou seja, fases de reciclagem que objetivam o material beneficiado, da seguinte forma:

- Avaliação visual;
- Separação manual dos resíduos não recicláveis;
- Moagem do material;
- Separação magnética de metais; e
- Destinação correta dos resíduos recicláveis e dos resíduos não recicláveis.

Angulo *et al.* (2001) também sugere separar os resíduos de acordo com sua composição, a fim de destiná-los controladamente para diversas finalidades, beneficiando os materiais para a melhor função possível. Essa separação visa minimizar a variabilidade das propriedades dos materiais, visto que os RCC apresentam grande potencial de reciclagem e podem ser processados e utilizados como matéria-prima para o próprio setor da construção civil.

Após a separação do material e o estudo de plausíveis reutilizações, torna-se possível destinar parte dos resíduos, de acordo com sua composição e propriedades. A madeira residual pode ser processada e utilizada como madeira engenheirada

(processada industrialmente); as telhas podem ser destinadas como matéria-prima na produção de misturas asfálticas; as cerâmicas e as argamassas residuais podem ser reutilizadas como agregados com baixa resistência mecânica; resíduos de *drywall* e gesso podem ser beneficiadas na produção de cimento; metais podem ser empregados na fabricação de novos produtos de metal (tarugos, fios, lingotes, vergas, barras, etc.); resíduos de concreto estrutural e rochas podem ser reutilizado como agregados na produção de concretos estruturais; e resíduos de asfalto podem ser reempregados para sua própria função (JOHN e AGOPYAN, 2000; ANGULO *et al.*, 2001; EPA, 2020).

No Quadro 5 estão algumas possíveis formas de utilização dos resíduos provenientes da construção civil, sequenciadas pelas vantagens admitidas.

Quadro 6 – Formas e vantagens da reutilização de RCC

LOCAL DE UTILIZAÇÃO	FUNÇÃO	VANTAGENS
Pavimentos	Base, sub-base ou revestimento primário	Baixa necessidade de tecnologia; Utilização de vários componentes (argamassa, cerâmica, areia, pedras, etc.), sem necessidade de separação; Menor gasto energético no processo de moagem (granulometria graúda); Maior eficiência do resíduo, ou seja, alta resistência à penetração no solo (Índice de Suporte Califórnia - CBR).
Concreto	Agregado para concreto não estrutural	Utilização de vários componentes (argamassa, cerâmica, areia, pedras, etc.), sem necessidade de separação; Menor gasto energético no processo de moagem (granulometria graúda); Possível melhoria no desempenho do concreto.
Argamassa	Agregado para argamassa de assentamento ou revestimento	Utilização dos RCC no próprio canteiro; Efeito pozolânico; Redução de consumo de cal e cimento; Aumento na resistência à compressão.

Fonte: Adaptado de Freitas (2009) e Zordan (1997)

Para Freitas (2009), a utilização de resíduos como matéria-prima para a fabricação de insumos não pode comprometer a qualidade do material que será empregado, dessa forma, estudos e acompanhamentos devem ser realizados para

que a utilização de reciclados no processo seja técnica, ambiental e economicamente vantajosa.

2.3.3 Gestão de resíduos da construção de obras portuárias

Ainda são escassas as referências sobre sustentabilidade no setor portuário, entretanto, na última década os estudos com esse foco ambiental têm aumentado significativamente. O setor portuário desempenha papel importante no desenvolvimento social e ambiental das comunidades próximas e, de acordo com Acciari (2015), negligenciar os impactos ambientais que as construções de portos acarretam tendem a aumentar o custo da obra, podendo invalidar o projeto e afetar a competitividade desse setor logístico, visto como um dos mais estratégicos existentes.

Implementar e monitorar práticas que reduzem os impactos ambientais de um porto é uma estratégia utilizada nos denominados “portos verdes”, visto que esses portos precisam ser sustentáveis e transparecer ambientalmente conscientes, neutralizando os impactos negativos que venham a gerar em função da poluição proveniente do transporte náutico e até mesmo da infraestrutura portuária (DI VAIO *et al.*, 2019). Dentre os princípios do porto verde estão a preservação dos recursos naturais; a redução da poluição marítima, terrestre e atmosférica; e a redução dos impactos ao meio ambiente e, conseqüentemente, de alterações climáticas (ACCIARO, 2015), princípios estes que demandam uma eficaz gestão sustentável.

Para uma gestão sustentável é importante conhecer o processo por inteiro, desde sua concepção ao seu produto em perfeito funcionamento. Em relação ao início do projeto portuário, uma das formas de minimizar os impactos ambientais se dá através da redução dos resíduos gerados em sua construção. Sendo assim, se torna imprescindível aplicar um sistema integrado de gerenciamento de resíduos nas obras portuárias, estabelecendo os procedimentos necessários para a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos, através de caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação dos RCC (MMA, 2002).

É importante também considerar a reciclagem de resíduos provenientes de EPIs no gerenciamento integrado do empreendimento, visto que esses equipamentos estragam, quebram ou vencem, demandando destinação correta. Em relação aos

resíduos de EPIs, Arten e Nagalli (2013) estudaram o uso e a geração de resíduos desses equipamentos em três obras de construção pesada, sendo uma delas um porto, e constataram que para a destinação dos resíduos provenientes de EPIs, os equipamentos inutilizados foram separados e armazenados nas Centrais de Resíduos junto com os materiais contaminados e os não contaminados para, posteriormente, serem conservadoramente destinados para aterros específicos.

Como alguns EPIs são compostos por mais de um tipo de material, Arten (2013) constatou que a destinação conservadora desses resíduos acarreta perda de material passível de reciclagem, isso se deve principalmente à falta de investimento das empresas com o gerenciamento de resíduos. Para Nagalli (2014), as empresas devem mudar sua cultura através de conscientização e educação ambiental coletiva.

Segundo Paz e Santos (2016), devido ao impacto ambiental elevado, a implementação de um PGRCC na construção de um empreendimento próximo a vegetações, corpos hídricos e locais habitados tem importância significativa. Dessa forma, sempre que possível, os resíduos devem ser submetidos à processos que possibilitem a reciclagem, a reutilização e o beneficiamento dos resíduos.

Para Nagalli (2014), a má gestão dos RCC pode acarretar impactos diretos e indiretos no entorno de uma obra, como: “vibrações e ruídos, assoreamento de cursos d'água, subutilização de áreas (bota-fora), não geração de renda e fomento ao mercado da reciclagem, não educação ambiental dos trabalhadores e prejuízos associados, contaminação de solos e águas e saúde pública afetada”.

Conforme estudado anteriormente, os resíduos provenientes das atividades de Construção Civil apresentam alto potencial de reciclagem e reutilização. Para isso, é interessante quantificar e caracterizar os resíduos gerados na obra, obtendo indicadores de geração de resíduos e possibilitando a implementação de gestão de resíduos eficiente.

Indicadores são características medidas que avaliam a evolução de um fenômeno, com o objetivo de fornecer informações e propiciar a melhoria contínua de um processo. A utilização de indicadores pode fornecer informações sobre o processo, permitindo desenvolver uma estratégia capaz de prever tendências e estabelecer ações preventivas (NEVES, 2012).

Para Mourão (2019), é de responsabilidade das empresas a definição de estratégias que visam melhorar a produtividade e identificar as vulnerabilidades dos

processos, principalmente quando se trata de produtividade relacionada à mão de obra. O autor considera que a utilização de KPIs com o intuito de avaliar e melhorar os índices de desempenho do setor da Construção Civil pode ser eficaz, visto que estes indicadores auxiliam na melhoria da gestão integrada desta indústria. Para Bakchan *et al.* (2019), os indicadores de geração de RCC auxiliam a programação do descarte dos resíduos, a estimativa de custo para este descarte e o planejamento de reutilização de resíduos provenientes de atividades de construção civil.

Em síntese, conhecer os indicadores de resíduos gerados auxilia a logística de manejo dos resíduos, permitindo conhecer a estimativa percentual de reaproveitamento e reciclagem dos resíduos, definir as características das centrais de coleta de resíduos que serão necessárias em uma próxima obra com as mesmas características e a periodicidade de transporte e destinação dos RCC (NAGALLI, 2014). Para Li *et al.* (2013), estimar os indicadores de resíduos da construção civil pode ser útil para melhorar o desempenho sustentável da indústria da construção.

Neste contexto, a fim de balizar o planejamento da gestão de resíduos de uma obra e, assim, estipular a quantidade de RCC que será gerada e a estrutura necessária para seu manejo, é importante conhecer a densidade aparente dos resíduos que serão gerados. Ao realizar o estudo da densidade dos resíduos provenientes da obra deste estudo de caso, Nagalli *et al.* (2020) quantificaram a densidade aparente média dos seguintes resíduos (Quadro 6):

Quadro 7 – Formas e vantagens da reutilização de RCC

TIPO DE RESÍDUO	DENSIDADE APARENTE
RCC classe A - resíduos das estacas de concreto	0,605 t/m ³
Sucata de madeira	0,307 t/m ³
Sucata metálica	0,696 t/m ³
Rejeitos classe IIA - resíduos orgânicos	0,132 t/m ³
Sucata de papel	0,083 t/m ³
Sucata plástica	0,087 t/m ³

Fonte: Adaptado de Nagalli *et al.* (2020)

Os autores compararam os resultados obtidos com outros dados da literatura e perceberam variação expressiva na densidade aparente dos resíduos estudados. Segundo eles, a diferença constatada pode ser decorrente de diferentes “formas de acondicionamento, grau de compactação, características físicas dos resíduos e tipos de obras” (NAGALLI *et al.*, 2020).

Na relação dos resíduos contaminados que, de acordo com a PNRS, apresentam risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, estão incluídos estopas e panos contaminados com óleo e desmoldante. Dessa forma, é importante conhecer também a densidade aparente de trapos. Em sua pesquisa, Santos e Silva (2012) determinaram que a densidade aparente média de trapos é de 119 kg/m³.

Em relação aos resíduos provenientes da construção civil, Nagalli (2014) considera que, para mudar a situação atual de destinação dos resíduos, os sistemas de logística reversa devem ser aprimorados, através de acréscimo de modelos de triagem, acondicionamento e de transporte, facilitando assim o descarte adequado dos resíduos. Com obras portuárias não é diferente, para definir a gestão de RCC que será implementada, é necessário conhecer os resíduos para poder definir a melhor logística até sua reciclagem ou reutilização.

2.3.4 Caracterização do estudo de caso

Para este estudo de caso, foi realizada a avaliação da gestão dos resíduos provenientes da obra portuária escolhida, acompanhando os principais processos construtivos geradores de resíduos sólidos na obra. A obra foi dividida em 4 segmentos que serão tratados no item 3.4.1, são eles: cais, *dolphins*, retroárea e ligação de retroáreas.

De acordo com o glossário portuário do Complexo Industrial Portuário de Suape (2020), cais é definido como uma “plataforma em parte da margem de um rio ou porto de mar, em que atracam os navios e se faz embarque ou desembarque de pessoas ou mercadorias”. O dicionário da língua portuguesa define cais como “plataforma onde um navio se atraca para embarque e desembarque de passageiros e carga; [...]; margem de um porto, geralmente empedrada ou lajeada para facilitar o acostamento dos barcos, bem como sua carga e descarga” (DICIO, 2021).

Lima *et al.* (2017) esclarece que *dolphins* são estruturas marítimas de amarração ou de atracação de embarcações. Os autores citam que os *dolphins* são construídos, em sua maioria, com lajes de concreto armado executadas sobre estacas metálicas ou de concreto. Na superfície da laje dos *dolphins*, são instalados cabeços de amarração ou ganchos, ou seja, peças metálicas com a função de receber amarração de embarcações.

Em relação às retroáreas, sua definição se dá como a área em que as cargas que saíram das embarcações ou que estão aguardando o embarque são armazenadas e movimentadas, aguardando sua destinação correta. É esta a região que oferece o suporte para o embarque e o desembarque das cargas (SUAPE, 2020).

A utilização de estacas de concreto centrifugadas e de camisas metálicas para execução de estacas de concreto estão sendo consideradas por muitos investidores em seus projetos de obras portuárias e de pontes sob rios (COMPRAÇO, 2021; EMBRAFE, 2021). Neste estudo de caso as duas metodologias foram implementadas.

O cais e os *dolphins*, estruturas para atracação de navios, foram construídos com estacas concretadas com a utilização de camisas metálicas. As camisas metálicas são tubos fabricados com chapas de aço, cujo interior recebe armação e concretagem in loco. A metodologia de cravação de camisas metálicas para execução de estacas é altamente adequada para obras executadas em águas e em solo (EMBRAFE, 2021).

Já as retroáreas, estruturas de armazenagem e movimentação de carga, foram construídas com estacas de concreto centrifugadas. Segundo a AECweb (2021), as estacas de concreto centrifugadas são fabricadas a partir da deposição de armação e concreto no interior de formas metálicas cilíndricas e posterior adensamento através do processo de centrifugação.

Por serem escassos os estudos de RCC provenientes de obras portuárias, esta pesquisa foi realizada com o intuito de analisar e implementar uma gestão eficiente dos resíduos provenientes da construção de portos. A análise foi feita através de investigações dos materiais empregados na obra, bem como da correta destinação e reutilização dos resíduos gerados, obtendo indicadores de geração de resíduos que poderão ser considerados em futuros projetos de obras portuárias.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA

O conhecimento, como se nota, forma-se a partir da pesquisa, que, segundo Silva e Menezes (2005), pode ser classificada de quatro maneiras: por sua natureza, pela forma de abordagem do problema, pelos objetivos da pesquisa e a partir dos procedimentos técnicos.

Seguindo a classificação sugerida por Silva e Menezes (2005), do ponto de vista da sua natureza, as pesquisas podem ser classificadas como pesquisa básica ou pesquisa aplicada. Esta pesquisa se caracteriza como pesquisa aplicada, com o objetivo de conquistar conhecimento para aplicação prática, visando solução de problemas específicos envolvendo fatos.

Em relação à forma de abordagem, Silva e Menezes (2005) categorizam uma pesquisa como quantitativa ou qualitativa. Este trabalho é classificado como quali-quantitativo, visto que as atividades de investigação buscam mensurar os resíduos sólidos envolvidos e correlacioná-los criticamente a seus aspectos geradores, o que se trata de uma abordagem qualitativa.

Em relação aos objetivos da pesquisa, Silva e Menezes (2005) citam Gil (2002), e classificam a pesquisa de três maneiras distintas: a exploratória, a descritiva e a explicativa. Em relação ao objetivo da pesquisa, esta dissertação é caracterizada como pesquisa exploratória, visando maior aproximação e familiaridade com o problema, explicitando-o.

Já quanto aos procedimentos técnicos utilizados, Gil (2002) classifica as pesquisas como: bibliográfica, documental, experimental, *ex-postfacto*, levantamento, pesquisa-ação, pesquisa participante e estudo de caso. Neste requisito, esta pesquisa é caracterizada como um Estudo de Caso, visando estudar profundamente o objeto de estudo, permitindo seu detalhado conhecimento, e abrange também a pesquisa bibliográfica. A pesquisa bibliográfica, explica Gil (2002), contempla apenas material já elaborado, como livros e artigos científicos, utilizando-se da contribuição de diversos autores sobre certo assunto. A maioria dos estudos exige este procedimento.

Oliveira (2002) destaca a competência do estudo de caso enquanto método suficiente para identificar e analisar as múltiplas ocorrências de um mesmo fenômeno,

em vários casos. Esta observação vai ao encontro do objetivo desta dissertação, que analisa criticamente o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção de uma obra portuária

Para Yin (2005), o estudo de caso, nominado pelo autor de “estratégia de pesquisa”, compreende “um método que abrange tudo”, em uma investigação em que fenômeno e contexto quase se mimetizam em situações da “vida real”. O autor defende a aplicabilidade do estudo de caso a “fenômenos individuais, organizacionais, sócias, políticos e de grupo, além de outros fenômenos relacionados”. Para Yin (2005), o estudo de caso pode ter objetivo exploratório, estudo de caso descritivo e estudo de caso explanatório, conforme as seguintes condições: tipo de questão, se exige controle ou não e se focaliza acontecimentos contemporâneos.

Em resumo, seguindo as classificações citadas acima, esta pesquisa é caracterizada como pesquisa de natureza aplicada, de abordagem quali-quantitativa e com objetivo exploratório. Já quanto aos procedimentos técnicos, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, seguida de um Estudo de Caso.

3.2 STRING DE BUSCA

Para a revisão bibliográfica foi realizada uma busca preliminar de artigos com o tema gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil, com o objetivo de criar uma base de dados, identificar os artigos mais significativos e encontrar palavras chaves para então criar uma *string* de busca com os temas aderentes ao tema de pesquisa, conforme Quadro 7.

Quadro 8 – *String* de busca

(continua)

Nível	Decomposição	Sinônimos	Termo em inglês
Área	Engenharia	-	-
Assunto	Resíduos Sólidos	Resíduos; Entulho; Calça; Lixo; Metralha; Rejeito	<i>Solid waste; Rubble</i>
Tema	Gerenciamento; Resíduos Sólidos; Resíduos Sólidos de Construção e Demolição	Gestão	<i>Management; Solid waste; Construction & Demolition waste</i>

Quadro 9 – String de busca

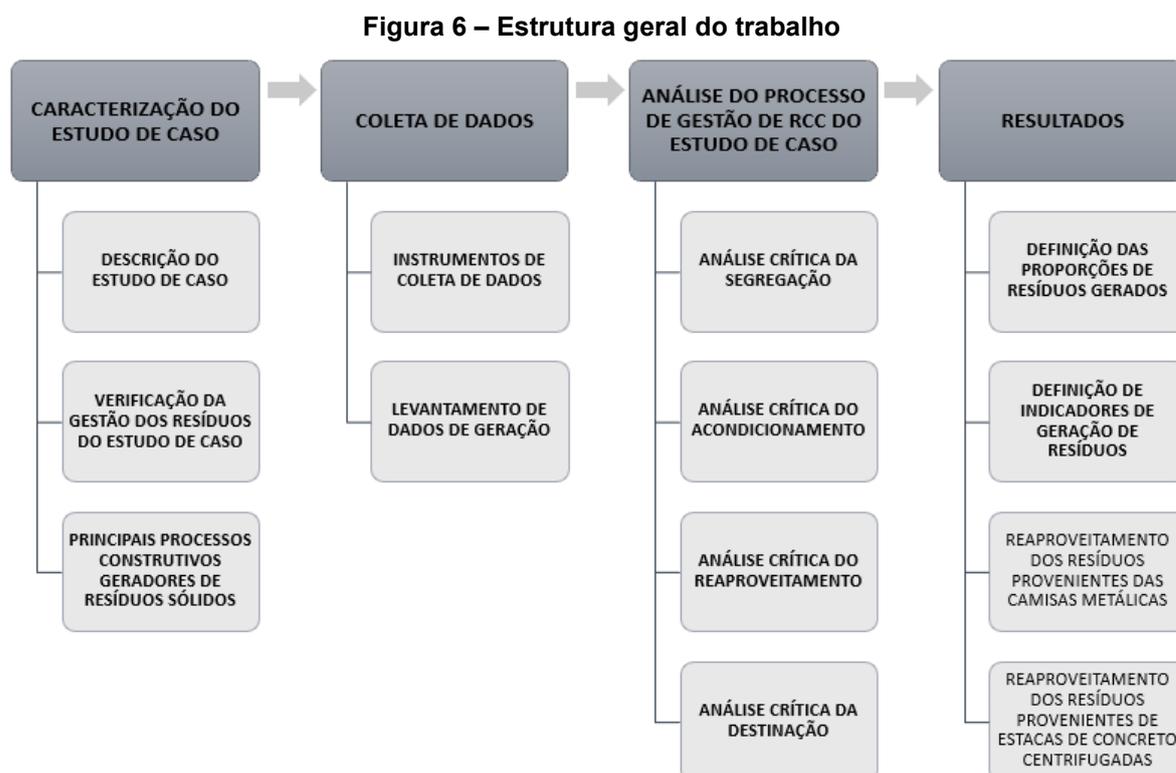
			(conclusão)
Delimitação	Construção de obras portuárias	-	<i>Sea Construction</i> <i>Port</i>
String de busca	"Solid waste" OR "waste management" OR "construction demolition"		

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao decorrer da pesquisa bibliográfica, foi possível definir, caracterizar e classificar os Resíduos Sólidos da Construção Civil, identificando os principais conceitos relacionados à gestão e ao gerenciamento de RCC e estabelecendo um plano de gerenciamento adequado para os resíduos provenientes deste Estudo de Caso, a fim de auxiliar a reutilização e a reciclagem dos materiais, bem como a disposição correta dos resíduos provenientes da construção de obras portuárias.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

Após o *string* de buscas elaborado e a revisão da literatura, foi criado o fluxograma com a estrutura geral da pesquisa, apresentado na Figura 6. O fluxograma foi montado para esquematizar as etapas e os propósitos desta pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2021)

Na primeira fase foi executada a caracterização do estudo através da formulação do problema, da definição da unidade-caso e da descrição do estudo de caso. Nessa fase, foi realizada a análise e o acompanhamento da gestão dos resíduos provenientes da obra portuária escolhida para esta pesquisa, levando em consideração os principais processos construtivos geradores de resíduos sólidos na obra.

A segunda etapa consistiu em elaborar o protocolo para a coleta de dados, contemplando o roteiro, os instrumentos e os locais utilizados para a coleta. Todos os dados coletados foram armazenados em planilhas para estudo e controle, foram também analisados documentos, depoimentos pessoais e a contribuição positiva de palestras informativas sobre resíduos.

Na fase de análise de dados foi verificado o processo de triagem dos resíduos na obra, através da verificação da segregação, do reaproveitamento, do acondicionamento e da destinação dos RCC da obra portuária. Nesta etapa também foram analisadas as proporções dos resíduos gerados na obra, a fim de definir as principais atividades geradoras de resíduos.

A última etapa da pesquisa contempla a caracterização e a qualificação do processo de gestão de RCC estudado. Foram definidos os indicadores e as proporções de resíduos gerados na obra, bem como os resultados obtidos e as conclusões do trabalho.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Conforme constatado através do embasamento teórico, a falta de planejamento e de gerenciamento dos resíduos provenientes da construção civil afetam diretamente o desempenho ambiental das obras. Existem muitos obstáculos para a implementação de um sistema de gerenciamento sólido dos RCC, tais como: projetos sem detalhamentos, equipe sem qualificação, falta de especificação para o manejo dos resíduos, falta de fiscalização dos processos construtivos, entre outros. Em se tratando de obras portuárias, somados aos problemas citados está a escassez nas informações e nos procedimentos de gestão de resíduos provenientes de construções de portos.

Por se tratar de um empreendimento com interface marítima, terrestre e com possíveis emissões atmosféricas, a redução dos impactos de obras portuárias ao meio ambiente é imprescindível e demanda uma eficaz gestão sustentável. Para isso, precisam ser estabelecidos procedimentos para a redução, reutilização e reciclagem dos RCC provenientes da construção de portos. Dessa forma, verificou-se a necessidade de estudar e compreender os indicadores relacionados aos resíduos provenientes de obras portuárias, através deste estudo de caso. A caracterização do estudo de caso é separada entre a descrição do estudo de caso e a descrição da gestão dos resíduos do estudo de caso.

3.4.1 Descrição do estudo de caso

Esse estudo foi realizado na ampliação do terminal de contêineres do Porto Dom Pedro II, localizado no município de Paranaguá, litoral do Estado do Paraná (Figura 7).

Figura 7 –Posicionamento do município de Paranaguá no mapa do Estado do Paraná e vista geral do Porto Dom Pedro II



Fonte: Adaptado de Sindepar (2021); Acervo da obra (2018)

O estudo de caso teve como objeto de investigação a execução de 4 segmentos da obra:

- a) Cais: obra de prolongamento do cais de atracação de navios em 220 metros;

- b) *Dolphins*: demolição de um *dolphin* existente e construção de quatro novos *dolphins* para atracação de navios de transporte de veículos;
- c) Retroárea: construção da retroárea do berço 217; e
- d) 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, foi executada a correção do desnível do pátio existente. A Figura 8 apresenta a localização e as áreas de cada setor construído.

Figura 8 – Identificação dos 4 segmentos da obra no Porto Dom Pedro II, Paranaguá - PR



Fonte: Adaptado do acervo da obra (2018)

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 5 meses, de junho a novembro de 2018; a retroárea foi iniciada em novembro de 2017 e finalizada em junho de 2019, atividade mais longa da obra, levando 19 meses para ser finalizada; e a correção do desnível entre as retroáreas levou aproximadamente 2 meses, de julho a setembro de 2019. Dessa forma, considerando as atividades efetivas das 4 obras necessárias à ampliação do porto,

conclui-se que foram necessários 20 meses para a construção da obra do estudo de caso.

A obra contava em sua estrutura com refeitório, vestiários, sanitários, almoxarifado, ambulatório e escritórios. Para 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 empresas terceiras.

Foi instalada uma central de pré-moldados no canteiro de obras destinada principalmente para a fabricação de capitéis, vigas, pré-lajes e vigas de bordo, Figura 9. Materiais os quais foram necessários para a execução da laje da retroárea e do cais.

Figura 9 – Identificação dos 4 segmentos da obra no Porto Dom Pedro II, Paranaguá - PR



Fonte: Adaptado do acervo da obra (2018)

No período de elaboração do projeto foi contabilizado o custo para a aplicação de formas de madeira na concretagem de peças pré-moldadas, foi estimado também o tempo de montagem e desmontagem que seria necessário para a utilização dessas formas. Após as análises, optou-se pela utilização de formas metálicas, visando evitar desperdício de madeira e facilitar a montagem e a desmontagem das formas, visto que a instalação e a troca das formas metálicas é mais eficiente se comparadas às formas de madeira.

3.4.2 Descrição da gestão dos resíduos do estudo de caso

A metodologia realizada neste Estudo de Caso consistiu primeiramente na caracterização e no acompanhamento da gestão dos resíduos provenientes das obras realizadas no Porto Dom Pedro II. Foram realizadas análises do processo de triagem para caracterizar o processo de gestão desses resíduos, considerando os agentes envolvidos, a origem, a taxa de geração, a possibilidade de reuso e a destinação final dos resíduos estudados, seguindo os seguintes passos:

- 1) Acompanhamento da geração do resíduo;
- 2) Estudo de reuso do resíduo;
- 3) Instalação de centrais de resíduos;
- 4) Quantificação de todos os resíduos mensais;
- 5) Classificação dos resíduos; e
- 6) Destinação correta dos resíduos.

A geração de todos os resíduos da obra foi acompanhada pelo período de 20 meses. Foram considerados os materiais passíveis de aproveitamento na própria obra, os resíduos perigosos, os resíduos orgânicos e os resíduos de ambulatório, a fim de possibilitar a quantificação e a classificação de todos os resíduos.

Para o estudo de aproveitamento dos resíduos, foram realizadas análises pelo setor de Meio Ambiente e de Produção, a fim de estabelecer um procedimento de reutilização das sobras dos materiais suscetíveis ao reuso e definir a destinação correta dos demais resíduos gerados no empreendimento. Foi definido que a segregação dos materiais viáveis para serem reutilizados seriam iniciadas nos postos de trabalho – carpintaria, central de armação metálica e central de solda – onde os profissionais responsáveis por cada setor iniciariam a separação do material apto de reuso do material inviável.

Para facilitar a logística de separação e de destinação de resíduos, foi definida a utilização de embalagens (bombonas plásticas, de aditivos de concreto, com capacidade de 200 L) como lixeiras. Foram dispostas várias estruturas de coleta seletiva pelo canteiro de obras, nas frentes de trabalho flutuantes, nos escritórios, nas áreas de vivência, no refeitório, nos postos de bebedouros, etc. Para cada frente de trabalho foi destinado um conjunto de cinco lixeiras, cada uma destas pintada com a cor correspondente ao seu resíduo, segundo o padrão da Resolução CONAMA nº

275/01 (orgânico, metal, plástico, papel e contaminado), Figura 10. Após seu completo preenchimento, as lixeiras eram transportadas por carrinhos até a central de resíduos mais próxima e seu conteúdo era destinado para a caçamba estacionária correspondente.

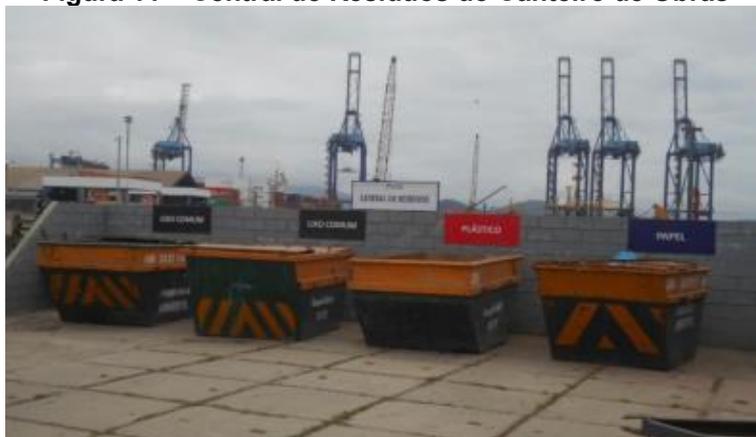
Figura 10 – Bombonas utilizadas como lixeira



Fonte: Geraldo Filho e Nagalli (2018)

Inicialmente, foi prevista apenas a instalação de uma central de resíduos, posicionada no canteiro, porém, devido à amplitude da obra, a equipe de logística definiu implementar uma central de resíduos e uma área de apoio para os resíduos contaminados também na área de pré-moldados da obra. Dessa forma, a central pré-existente ficou destinada a atender os resíduos de carpintaria, central de solda, retroárea e central de armação, enquanto a segunda central ficou atribuída para os resíduos provenientes do setor de pré-moldados. A Figura 11 apresenta a Central de Resíduos instalada no canteiro.

Figura 11 – Central de Resíduos do Canteiro de Obras



Fonte: Geraldo Filho e Nagalli (2018)

Cada central de resíduos era composta por 05 caçambas, destinadas individualmente para os seguintes materiais: madeira, sucata metálica, plástico, papel e resíduo orgânico. Devido à quantidade elevada de resíduos de madeira e metais produzidos na obra, foram implantadas também 02 caçambas extras na central de carpintaria (para madeiras) e 01 na central de armação (para metais). Ademais, foi criada também no canteiro de obras 01 central destinada aos resíduos perigosos, Figura 12. Para essa central eram destinados EPIs, óleos lubrificantes usados, estopas e panos contaminados com óleo e desmoldante, lâmpadas, serragem de contenção de óleo, etc.

Figura 12 – a) Central de resíduos perigosos e b) coleta de lâmpadas e EPIs



Fonte: Autoria própria (2018)

O transporte e a destinação dos resíduos gerados na obra ficaram sob responsabilidade de empresa terceira especializada. A transportadora ficou responsável pelo içamento das caçambas e condução até o local de destinação de cada resíduo. Apenas os resíduos provenientes do ambulatório não eram retirados pela transportadora, tendo sido contratada empresa especializada em tratamento para este fim. Coube aos setores de Logística e Meio Ambiente do empreendimento definir para quais parceiros de entrega da transportadora os resíduos seriam conduzidos.

Dentre os resíduos gerados nos processos construtivos da obra, dois deles foram estudados em separado, os resíduos provenientes da instalação de camisas metálicas e os decorrentes da instalação de estacas de concreto centrifugadas. A maior parte desses resíduos foi reutilizada como matéria-prima na própria obra, apenas o material que era impossibilitado de reuso foi descartado, adotando os meios corretos de destinação final.

De posse dos dados consolidados, foi possível analisar criticamente o gerenciamento dos resíduos sólidos obra portuária. Para acompanhamento, os RCC foram caracterizados e separados com base nos processos construtivos geradores de resíduos, os quais serão tratados na sequência.

3.4.3 Principais processos construtivos geradores de resíduos sólidos

Para facilitar a verificação dos resíduos provenientes das obras executadas no porto, os principais processos construtivos foram separados em: atividades de canteiro de obras; instalação de camisas metálicas; e instalação de estacas de concreto centrifugadas.

3.4.3.1 Canteiro de obras

Este item abrange as atividades do canteiro de obras como um todo, contemplando a estrutura da obra (refeitório, vestiário, ambulatório e escritórios) e os postos de trabalho (central de carpintaria, central de armação metálica, central de solda e usina de concreto). Os resíduos gerados nas atividades realizadas no canteiro de obras – resíduo orgânico, metal, plástico, papel, madeira, RSS e resíduos perigosos – foram destinados para locais externos ao empreendimento da seguinte forma:

- a) Resíduo orgânico: uma vez por semana os resíduos orgânicos eram transportados e descartados em aterro sanitário;
- b) Sucata metálica, plástico e papel: os materiais recicláveis eram acumulados em caçambas e, uma vez por semana, a caçamba cheia era transportada e seu volume era vendido para sucateiro (metal) e empresa recicladora (plástico e papel);
- c) Madeira: uma ou duas vezes por semana, a depender da quantidade gerada, o resíduo de madeira era transportado e doado para casas de recuperação de resíduo reciclável. Posteriormente, esses materiais eram transformados em artesanato;

- d) Resíduos perigosos: os resíduos contaminados e/ou perigosos eram retirados da obra pela transportadora e destinados uma vez a cada 1, 2 ou 3 meses para uma central de tratamento de resíduos sólidos industriais, dependendo da quantidade de resíduos acumulada;
- e) RSS: diferente dos demais resíduos, foi contratado uma empresa especializada em incineração, a qual coletava na obra 50 litros por mês de resíduos provenientes de ambulatório.

Vale ressaltar que cada tipo de resíduo foi classificado e armazenado separadamente até a sua destinação.

A fim de reaproveitar os resíduos orgânicos produzidos na obra, foi montada uma horta comunitária no canteiro de obras, utilizando uma área em desuso próximo ao refeitório, e foi criada uma composteira com resíduos de madeira da obra para a decomposição do resíduo proveniente do refeitório.

3.4.3.2 Instalação de camisas metálicas

As estacas de fundação do cais (área de 11.003 m²) e dos *dolphins* (área de 400 m²) foram executadas através da cravação de camisas metálicas, preenchidas com concreto armado. Foram executadas 350 estacas, tendo sido realizados procedimentos de vibração e percussão com martelo hidráulico, Figura 13.

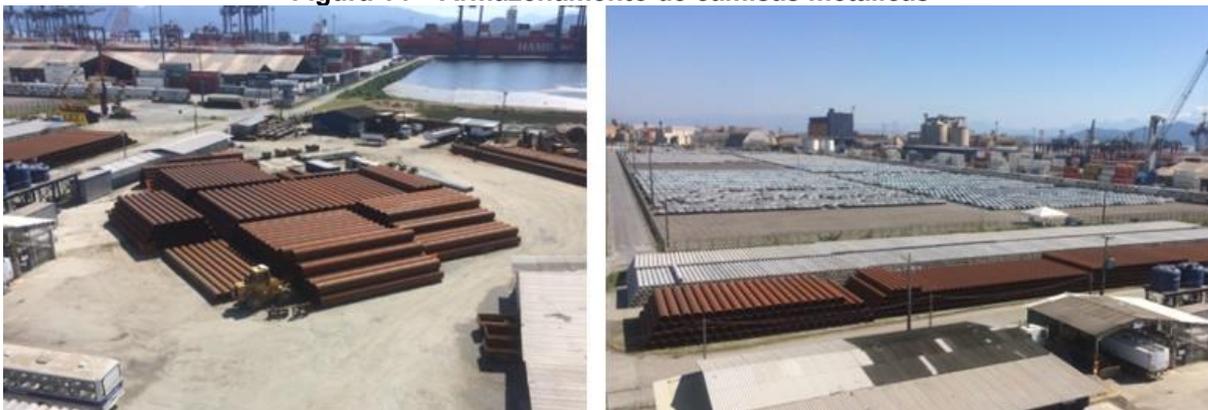
Figura 13 – Instalação de camisas metálicas



Fonte: Acervo da obra (2018)

As camisas metálicas eram adquiridas com 12 metros de comprimento, dessa forma, para a execução de todas as estacas necessárias no Cais, foram utilizados 1.100 tramos/peças, Figura 14. Para alcançar a cota prevista em projeto estabelecida pela topografia certificada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DNH), cada estaca foi composta por 3 ou 4 tramos/peças, emendadas entre si com solda.

Figura 14 – Armazenamento de camisas metálicas



Fonte: Acervo da obra (2018)

Após sua instalação, os conjuntos de 3 ou 4 camisas metálicas eram cortados na cota de arrasamento, para esta atividade, sendo utilizados equipamentos específicos para corte metálico. Para finalizar a atividade, a armadura de cada estaca era posicionada no interior do conjunto de camisas metálicas e era realizada a concretagem de seu interior.

3.4.3.3 Instalação de estacas de concreto centrifugadas

As estacas centrifugadas foram instaladas através de cravação e foram utilizadas na execução da retroárea (área de 150.018,70 m²), que é basicamente uma laje construída atrás do Cais com a função de armazenar os *containers*, Figura 15.

Figura 15 – Instalação de Estacas de Concreto

Fonte: Acervo da obra (2018)

Para o estaqueamento, foram necessárias 7.423 estacas com profundidade média de 32,63 metros (de 23,00 a 49,00 m, a depender da cota de fundo), totalizando aproximadamente 242.450 metros de estacas de concreto centrifugadas, Figura 16. As estacas foram cravadas seguindo uma malha de 5 x 5 metros, na qual foram utilizadas cerca de 22.000 peças pré-moldadas de concreto.

Figura 16 – Armazenamento de Estacas de Concreto

Fonte: Acervo da obra (2018)

As estacas eram entregues em obra com 11 metros de comprimento cada. Para alcançar a cota necessária de projeto para o estaqueamento, estabelecida pela topografia certificada pela DNH, foi necessário unir as estacas pré-moldadas com anéis de aço, viabilizando assim o comprimento de estaca necessário.

Após a união de 3 a 5 estacas, os conjuntos eram cravados e cortados na cota de arrasamento das estacas de concreto, com o auxílio de maquinário específico para cada uma das atividades. Dessa forma, a cota das estacas centrifugadas era padronizada conforme a determinação do projeto executivo.

3.5 COLETA DE DADOS

Para executar a coleta das informações foram criados três tipos diferentes de planilhas, a fim de abranger todos os tipos de resíduos gerados na obra portuária. Os instrumentos de medição foram padronizados de acordo com o resíduo, a fim de facilitar a coleta dos dados.

Assim como no subcapítulo 3.3, os dados coletados também foram agrupados através dos principais processos construtivos geradores de resíduos sólidos. Essa diversificação foi executada para facilitar a separação e a compreensão dos materiais que foram reutilizados como insumos em atividades específicas da obra.

3.5.1 Resíduos gerados no Canteiro de Obras

Os resíduos gerados no canteiro da obra – resíduo orgânico, metal, plástico, papel, madeira, RSS e resíduos perigosos - foram quantificados através da massa do conteúdo de cada caçamba estacionária destinada ao seu transporte. Como já citado, foram dispostas 10 caçambas identificadas nas Centrais de Resíduos (05 caçambas em cada), mais 02 caçambas extras para madeira na Central de Carpintaria, além de bombonas utilizadas como lixeiras na Central de Resíduo Contaminado, destinada aos resíduos contaminados e/ou perigosos.

No local de destinação, a caçamba cheia era pesada e a massa informada à obra pela transportadora através de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR). Os dados eram recebidos uma vez por mês e inseridos em planilha de controle, denominada Planilha MTR, pelo setor de Meio Ambiente do empreendimento. A planilha era revisada também pelo setor de qualidade, garantindo a veracidade e a confiabilidade dos dados.

Para a elaboração da Planilha MTR, foram descritos todos os resíduos na coluna inicial, seguidos por sua unidade correspondente. Mês a mês foram incluídos

os pesos (massas) relacionados à cada resíduo destinado, conforme exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos resíduos constantes da Planilha MTR

Descrição	Unidade	Mês 1	Mês [...]	Mês N	Total Acumulado
Resíduo orgânico/ reciclável não	kg	1540	...	12269	130849
Resíduo Ambulatorial	kg	1,8	...	4	69
Sólidos contaminados	kg	-	...	3520	36945
Sucata de Madeira	kg	650	...	15700	155640
Sucata Metálica	kg	-	...	414080	790610
Sucata de Papel	kg	33	...	630	15144
Sucata Plástica	kg	16	...	1620	40622
Óleo lubrificante	L	-	...	850	12220

Fonte: Autoria própria (2021)

Para a qualificação e a quantificação dos materiais, a equipe verificava mensalmente o volume de resíduos gerados na obra e classificava-os por tipo de resíduo, a fim de gerar conhecimento para estabelecer a forma mais eficaz de controlar os rejeitos gerados no decorrer da obra. Adicionalmente, com a finalidade de identificar a correlação entre número de servidores e quantidade de resíduos produzidos, foi realizado o acompanhamento mensal dos insumos e da quantidade de funcionários com atividades efetivas em obra. No decorrer da análise, foram definidas as proporções e as condições de trabalho que incidem maior influência na geração de resíduos, identificando os índices de geração de resíduos e qualificando o processo de gestão dos resíduos sólidos da obra.

3.5.2 Resíduos provenientes das camisas metálicas

A quantificação dos resíduos das estacas executadas com camisa metálica foi realizada através da medição do comprimento de camisa metálica proeminente após seu arrasamento. É possível observar na Figura 17 o processo de arrasamento das camisas metálicas, a fim de padronizá-las na cota de projeto.

Figura 17 – a) Camisas metálicas instaladas e aguardando arrasamento e b) camisas metálicas com a cota de projeto



Fonte: Acervo da obra (2018)

O projeto executivo deste empreendimento adotou dois diâmetros distintos de camisas metálicas para a execução das estacas, 80 e 100 centímetros. Ainda no período de elaboração do projeto, os setores de Projeto e de Qualidade definiram a solução para o reaproveitamento dos resíduos provenientes das camisas metálicas, previstas para serem utilizadas na execução de estacas, como insumos para o próprio processo construtivo. Como critério de classificação dos resíduos de camisa metálica passíveis de reaproveitamento, foi estabelecido que os resíduos das camisas de concreto com mais de 2 metros de comprimento seriam reutilizados com a sua mesma função, conforme já havia sido empregado em outras obras.

A triagem dos resíduos das camisas metálicas era executada pelo Engenheiro de Qualidade, funcionário responsável pelas soldas e pela inspeção dos resíduos provenientes de camisa metálica, Figura 18. O engenheiro tinha como função a avaliação das condições e do comprimento dos resíduos.

Figura 18 – Avaliação do resíduo de camisas metálicas



Fonte: Autoria própria (2018)

Após verificação, as peças metálicas passíveis de reutilização eram destinadas para a fábrica de soldas instalada no canteiro de obra. Dessa forma, o resíduo era reaproveitado e transformado em matéria-prima para a execução de novas camisas metálicas, Figura 19.

Figura 19 – a) Reparo dos resíduos das camisas metálicas e b) reaproveitamento dos resíduos das camisas metálicas com sua mesma função



Fonte: Autoria própria (2018)

Em relação aos segmentos das camisas metálicas com comprimento menor que 2 metros, os mesmos eram transformados em anéis de reforço para as camisas metálicas. Os anéis de reforço eram instalados na superfície da camisa metálica que recebia vibração e cravação com o martelo hidráulico, com a função de reforço para a camisa metálica suportar a percussão, o reforço era instalado na parte interna da camisa metálica, para propiciar perda de atrito lateral.

Devido à falta de resíduos de camisas metálicas no início da obra, os primeiros anéis de reforço necessários foram obtidos a partir de cortes executados nas camisas metálicas que sobraram da obra anterior (cais 216). Todos os anéis de reforço eram fabricados com 50 centímetros de comprimento e diâmetro milimetricamente inferior ao diâmetro original das peças, conforme Figura 20, e eram moldados na própria fábrica de soldas do canteiro de obras.

Figura 20 – Anel de reforço instalado na camisa metálica



Fonte: Autoria própria (2018)

O setor responsável pelo gerenciamento dos resíduos da obra teve o cuidado de garantir total reaproveitamento dos resíduos de camisas metálicas. Todo o resíduo proveniente dessa atividade foi reutilizado, seja como nova camisa metálica, como anel de reforço ou até mesmo como material vendido para ser calandrado em forma de chapa e transformado para reutilização.

O controle dos resíduos das camisas metálicas foi realizado através de duas planilhas de controle, uma voltada para as estacas necessárias na construção do cais e a outra destinada para das estacas dos *dolphins*. Dentre os dados constantes nas planilhas de controle, os mais importantes para esta pesquisa são: número da estaca, código de cada camisa metálica utilizada (separados por módulos), local de instalação, período de execução e comprimento do conjunto de camisas metálicas por estaca, conforme exemplo constante na Tabela 2.

Tabela 2 – Exemplo de controle de cravação de estacas de camisas metálicas

Nº da estaca	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Data inicial	Data final	Comp.
E1	185	187	186	188-1	22/02/18	22/02/18	28,044
E2	382	384	383	70	02/02/18	02/02/18	38,560
E3	248	247	244	263-1	05/12/17	05/12/17	39,660
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
E242	430-A	176-A	441-A	227-A	14/05/18	14/05/18	34,530

Fonte: Autoria própria (2021)

Na Tabela 2, os resíduos de camisas metálicas reaproveitados no próprio processo executivo foram citados com o número 1 ou 2 ou com as letras A e B no final de seu código inicial. Esse controle se tornou necessário para determinar a quantidade de resíduos reutilizados no processo, a quantidade de resíduos destinados à anéis de reforço e, como sobra, os resíduos que foram descartados para empresas sucateiras. Os módulos foram adicionados na planilha para viabilizar o controle do conjunto de camisas metálicas que formaram uma única estaca (no mínimo 3 camisas agrupadas por conjunto).

3.5.3 Resíduos provenientes das Estacas de Concreto Centrifugadas

A quantificação dos RCC provenientes das estacas de concreto centrifugadas foi realizada através da extensão sobressalente das estacas pré-moldadas que não foram reutilizadas no processo. Como visto anteriormente, as estacas eram cortadas na cota de projeto e, na sequência, o resíduo era avaliado. É possível observar na Figura 21 o processo de arrasamento das estacas pré-moldadas até a cota de projeto.

Figura 21 – a) Estacas pré-moldadas instaladas e aguardando arrasamento e b) estacas pré-moldadas com a cota de projeto



Fonte: Acervo da obra (2018)

Durante a elaboração do orçamento do empreendimento, foi estipulado que os resíduos provenientes das estacas de concreto pré-moldado maiores que 2 metros de comprimento seriam reutilizados admitindo sua própria função. Já para os resíduos menores de 2 metros ou não aceitos pelo controle de qualidade, foram realizados estudos e foi definida a viabilidade de sua transformação em agregado para reutilização na sub-base da obra de nivelamento.

A triagem dos resíduos das estacas foi feita através dos Engenheiros de Qualidade e de Produção, a verificação da integridade dos componentes das estacas de concreto era feita visualmente e, na sequência, eram tiradas medidas das estacas. Dessa forma, seguindo a orientação pré-definida, quando o comprimento da estaca sobressalente após o corte era superior a 2 metros, o segmento era reutilizado no próprio processo. Para isso, era necessária a instalação de novo anel de aço (luva) na estaca sobressalente, Figuras 22 e 23, a qual era soldada com uma nova estaca de concreto, a fim de alcançar o comprimento de estaca necessário.

Figura 22 – Anel de aço nas extremidades das estacas de concreto



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 23 – Estacas de concreto com luvas de emenda



Fonte: Acervo da obra (2018)

Como alternativa de reutilização dos resíduos das estacas centrifugadas de concreto, provenientes de estacas quebradas, não aprovadas pelo setor de qualidade, ou que, após seu corte, apresentaram comprimento menor que 2 metros, Figura 24, optou-se por sua demolição com auxílio de martetele hidráulico.

Figura 24 – Estacas de concreto não aprovadas pelo controle de qualidade



Fonte: Autoria própria (2018)

Após o término da obra, os autores Geraldo Filho e Nagalli (2020), publicaram uma pesquisa com o objetivo de avaliar a utilização dos resíduos provenientes das estacas pré-moldadas da obra deste estudo de caso. Para avaliar e validar a utilização do concreto residual das estacas, foram selecionadas 20 amostras, as quais foram medidas e rompidas. Após sua demolição, o aço interno da estaca pré-moldada foi separado e mobilizado para a caçamba de aço e, posteriormente, vendido como sucata, Figura 25.

Figura 25 – Demolição das Estacas de Concreto



Fonte: Autoria própria (2018)

O concreto resultante da demolição foi transformado em agregado (Figura 26) e utilizado como complemento de sub-base, admitindo a função de Brita Graduada Simples (BGS), na obra de correção do desnível na ligação das retroáreas, Figura 27.

Figura 26 – Estacas de concreto transformadas em agregado



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 27 – Lançamento do agregado proveniente das estacas de concreto



Fonte: Autoria própria (2018)

Como já publicado pelos autores Geraldo Filho e Nagalli (2020), o controle da quantidade de concreto utilizado como sub-base era feito com o auxílio de uma caçamba estacionária, através da verificação do peso do material constante da caçamba. Após o lançamento e compactação do agregado proveniente das estacas pré-moldadas, foi executada a laje de correção com 27 centímetros de espessura de concreto.

O controle dos resíduos das estacas pré-moldadas de concreto utilizadas na retroárea foi executado através de uma planilha de controle. Os dados relevantes constantes da planilha são: número da estaca, código de cada estaca utilizada (separados por módulos/segmentos), local de instalação, período de execução e comprimento da estaca (separado pelo comprimento de cada segmento do conjunto de estacas pré-moldadas necessário para compor a estaca), conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Exemplo de controle de cravação de estacas de concreto centrifugadas

Nº da estaca	Segmento					Data inicial	Data final	Comprimento					Comp. Total
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
E1	379A	2690	1796	1720	168	15/11/18	15/02/18	6,8	11	11	11	11	50,8
E2	1587A	1673	1082	1669	-	14/12/18	15/12/18	8,4	11	11	11	-	41,4
E3	276A	1711	7625	1727	198	08/09/18	08/09/18	6,5	11	11	11	11	50,5
[...]
En	1900B	1912	9594			04/03/19	05/03/19	11,5	11	11			33,5

Fonte: Autoria própria (2021)

É possível visualizar na Tabela 3 letras A e B no final de alguns códigos de estacas, essas letras representam os resíduos de estacas de concreto centrifugadas reaproveitados no próprio processo executivo. Assim como no caso das estacas de camisas metálicas, as estacas de concreto centrifugadas também foram divididas em módulos ou segmentos, para facilitar o controle do conjunto de estacas centrifugadas (de 3 a 5) que formaram uma única estaca.

3.6 LEVANTAMENTO DE INDICADORES DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A mobilização de funcionários para a obra portuária estudada, e consequente geração de resíduos, iniciou em outubro de 2016, porém as atividades efetivas de construção iniciaram apenas em novembro de 2017. Esse decurso temporal ocorreu devido a questões relacionadas ao processo de Licenciamento Ambiental, período em que a equipe reduzida ficou encarregada pela organização, manutenção e limpeza do canteiro de obras anterior, bem como por recebimento de materiais, testes de procedimentos executivos e pequenas obras de reparos.

Em relação ao término da obra, as atividades de construção civil (cais, *dolphins*, retroárea e ligação das retroáreas) finalizaram em julho de 2019. Porém, nos meses subsequentes, alguns funcionários continuaram com atividades de organização e desmobilização de canteiro de obras. Assim sendo, é importante esclarecer que todos os gráficos, planilhas, e cálculos relacionados à geração de resíduos, quantidade de funcionários e execução de obras contemplam os dados de novembro de 2017 até julho de 2019.

Com posse dos dados coletados e com o intuito de definir as proporções e as condições de trabalho que incidem maior influência na geração de resíduos, foram investigadas as correlações existentes principalmente entre quantidade mensal de funcionários na obra e quantidade de resíduos gerados por mês, conforme abaixo:

1. Quantidade de funcionários x geração de resíduos orgânicos;
2. Quantidade de funcionários x geração de resíduo ambulatorial;
3. Quantidade de funcionários x compra de copos plásticos;
4. Quantidade de funcionários x geração de resíduos de EPIs;
5. Compra de EPI x geração de resíduos de EPIs.

Foram analisados também os índices de geração de resíduos em relação à área de obra executada. Com o objetivo de determinar indicadores de geração de resíduos, foram contrapostos:

6. Área de obra executada x geração de resíduos contaminados;
7. Área de obra executada x geração de resíduos de madeira;
8. Área de obra executada x geração de resíduos metálicos;
9. Área de obra executada x geração de resíduos orgânicos.

A identificação dos indicadores de resíduos gerados envolveu a definição dos processos de coleta dos dados, a definição dos responsáveis pela coleta, a duração dos controles e a análise dos dados coletados. Para definir os indicadores foi considerada também a relevância do resíduo gerado, com base na relação entre o indicador gerado e a importância da informação para o estudo de caso.

Já para mensurar a economia de matéria-prima alcançada com a reutilização dos resíduos provenientes dos processos de estaqueamento, camisas metálicas e estacas centrifugadas, foram efetuados estudos comparativos através do percentual de material reaproveitado nos processos executivos.

4 ANÁLISE DE DADOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise crítica de todo o processo de triagem dos resíduos sólidos gerados no estudo de caso foi detalhada no capítulo de análise, resultados e discussões desta pesquisa. Para isso, foram levados em consideração, separadamente, a segregação, o reaproveitamento, o acondicionamento e destinação dos RCC gerados ao longo das obras.

4.1 ANÁLISE DO PROCESSO DE GESTÃO DE RCC DO ESTUDO DE CASO

Ao acompanhar por 20 meses a gestão dos RCC provenientes da obra realizada no Porto Dom Pedro II, foram realizadas análises da segregação, do acondicionamento, do reaproveitamento e da destinação final dos resíduos. As análises executadas levaram em consideração os materiais passíveis de aproveitamento (madeira, metal, plástico e papel), os resíduos perigosos, os resíduos orgânicos e os resíduos de ambulatório, a fim de possibilitar a quantificação e a classificação de todos os resíduos.

4.1.1 Análise crítica da segregação dos resíduos

Percebeu-se que a maior dificuldade foi evitar que os resíduos fossem misturados no dia a dia da obra, mesmo com a conscientização inicial de todos os funcionários envolvidos no empreendimento. No início da obra era comum observar que os resíduos eram destinados para as lixeiras (bombonas) misturados, o que dificultava o trabalho de separação dos resíduos efetuado pelos funcionários da zeladoria.

Para mitigar o problema de mistura de resíduos, o tema de separação de resíduos era semanalmente tratado nos Diálogos Diários de Segurança e Meio Ambiente (DDS), conforme Figura 28. Adicionalmente, foram espalhados cartazes e placas de sinalização pela obra, com orientações da destinação correta dos resíduos. Com o tempo, os sacos de lixo pretos comumente utilizados também foram substituídos por sacos de coloração semelhante às das lixeiras, facilitando a separação pelos funcionários e a destinação pelo pessoal da zeladoria.

Figura 28 – a) Exemplo de palestra informativa para manejo dos resíduos e b) exemplo de DDS sobre resíduos sólidos



Fonte: Autoria própria (2018)

Além da construtora responsável pela obra, o empreendedor (cliente) contratou empresa especializada para conduzir palestras informativas mensais para manejo de resíduos (Figura 28). Foi realizada força-tarefa entre a construtora e a empresa terceirizada para realizar treinamentos de meio ambiente uma vez por mês, com o intuito de gerar uma conscientização global para a correta separação e destinação dos resíduos, resultando melhora em sua separação.

Em cada um dos escritórios foram destinadas lixeiras separadas para papel, plástico e resíduo orgânico. A zeladoria efetuava a limpeza e não havia mistura de resíduo considerável nesses locais. Percebeu-se que a separação dos resíduos era feita com maior eficácia pelos funcionários mais antigos da empresa, os quais já estavam adaptados à logística e às cores das lixeiras, pois haviam recebido treinamentos com maior frequência.

Foram dispostos dois tipos de caçambas no canteiro: caçambas com tampa e sem tampa. Por se tratar de resíduos com alto volume de geração, as caçambas sem tampa foram destinadas para resíduos de metal e de madeira, para facilitar o descarregamento do material. Já as caçambas com tampa foram destinadas, separadamente, aos demais resíduos, a fim de garantir a segregação correta dos RCC. Diariamente os resíduos destinados nas caçambas dispostas no canteiro de obras eram fiscalizados pelos técnicos de segurança e, caso a caçamba estivesse com resíduo misturado com outro tipo de resíduo, o encarregado da frente de serviço era alertado e os resíduos eram separados e corretamente destinados.

Caso fosse verificado que havia resíduo acumulado (principalmente madeira e metal) em algum local do canteiro de obras, devido às frentes de serviço em andamento, era realizado o recolhimento com carrinho de mão e a destinação para a caçamba correta. Cada encarregado com sua equipe, depois da atividade finalizada, destinava os resíduos provenientes dos serviços corretamente.

De modo geral, a segregação correta dos resíduos era dependente de fiscalização. Por mais que tenha havido palestras, treinamentos e DDS sobre o tema, havia a necessidade de manter uma equipe fiscalizando a segregação correta dos resíduos, a fim de evitar sua mistura.

Em relação aos resíduos provenientes de EPIs, a empresa optou, de modo preventivo, por destinar todos os EPIs como material contaminado (perigoso) para incineração ou para descarte em aterro. Dessa forma, todos os EPIs foram misturados, independente do material de que eram confeccionados e do grau de contaminação no término de sua utilização. Identificou-se como oportunidade de melhoria do processo que os resíduos de EPIs poderiam ter sido subclassificados, sendo separados entre resíduos contaminados e resíduos não contaminados. Ainda, posteriormente, possibilitar a criação de uma forma de descontaminar o EPI através de cabine de descontaminação ou com utilização de desinfetantes e destiná-lo para reciclagem, de acordo com o material de sua confecção (exemplo: capacete e óculos devem ser destinados com resíduos plásticos).

4.1.2 Análise crítica do acondicionamento dos resíduos

Foram dispostas várias estruturas de coleta seletiva pelo canteiro de obras. Os resíduos destinados corretamente nas lixeiras dispostas ao longo da obra (Figura 29) eram transportados e acondicionados nas caçambas de 5 m³, instaladas nas centrais de coleta de resíduos do canteiro de obras.

Figura 29 – a) Estrutura de coleta seletiva nas frentes de trabalho flutuantes e b) coletores de copos plásticos na área dos bebedouros



Fonte: Geraldo Filho e Nagalli (2018)

Em relação aos resíduos contaminados - seguindo a NBR 12235/92: Armazenamento de resíduos perigosos - foi construída uma central coberta, impermeável, com acesso restrito e com boa ventilação e iluminação destinada aos resíduos contaminados, conforme Figura 30. O acondicionamento dos RCC seguia a norma vigente - Lei Federal nº 12.305/2010: Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Figura 30 – a) Central de resíduos contaminados e b) separação de resíduos de EPIs para descarte



Fonte: Geraldo Filho e Nagalli (2018)

Ao analisar criticamente o acondicionamento dos resíduos, percebe-se que as bombonas dispostas em algumas frentes de trabalho enchem rapidamente e era necessário o seu transporte e descarte nas centrais de resíduos em torno de 2 vezes por dia. Dessa forma, uma das alternativas teria sido substituir as bombonas de 200

litros das frentes de serviço com maior descarte de resíduos para caçambas de 5 m³, principalmente as dispostas na retroárea e no cais.

Toda semana eram retiradas as caçambas de 5 m³ de todos os resíduos e transportadas para o local de destinação fora da obra. Outra sugestão é substituir as caçambas de 5 m³ instaladas nas centrais de resíduos do canteiro por caçambas de 25 m³. Essa substituição diminuiria a quantidade necessária de transporte de caçambas para destinação e, conseqüentemente, a quantidade de MTR gerados, mitigando assim o problema de logística. Com essa substituição, os resíduos armazenados nas caçambas de 25 m³ poderiam ser destinados apenas uma vez por mês.

Em canteiros de obra menores, a dificuldade encontrada em utilizar caçambas de 25 m³ seria o espaço que estas demandam. Contudo, o canteiro desta obra era grande e viável para substituição das caçambas de 5 m³ para 25 m³.

Outro problema constatado no acondicionamento dos materiais, foi referente às estacas pré-moldadas de concreto. Percebeu-se que era necessário realizar por diversas vezes o transporte desses materiais dentro do canteiro de obras. Após serem entregues no campo, as estacas pré-moldadas eram descarregadas na área de estoque, posteriormente, para receberem as soldas necessárias, os materiais eram transportados para a central de solda. Após soldadas, as estacas de concreto eram novamente transportadas para as balsas de transporte, para serem movimentadas até o guindaste de cravação e serem instaladas. Essas movimentações acarretavam danos (quebras) às estacas de concreto e conseqüente geração de resíduos. Como sugestão, para diminuir a distância e a movimentação das estacas de concreto centrifugadas, poderia ter sido viabilizada uma área de solda próxima à área de estoque das estacas de concreto. Dessa forma, o manuseio de estacas dentro do canteiro de obras seria evitado e as peças sofreriam danos com menor frequência, minimizando a geração de resíduos.

4.1.3 Análise crítica do reaproveitamento dos resíduos

Para melhor entendimento, a análise crítica do reaproveitamento dos resíduos sólidos será descrita por material ou procedimento utilizado.

A. Resíduos Orgânicos:

Para adubar a horta comunitária, foi criada uma composteira para a decomposição do resíduo proveniente do refeitório. As composteiras foram construídas com resíduos de madeira da obra, adotando o formato de cubos de 1,5 m de aresta, com 0,50 m abaixo da terra (Figura 31). A fim de instigar a separação correta dos resíduos orgânicos do refeitório, todos os funcionários recebiam uma parte das verduras da horta, quando colhidas.

Figura 31 – a) Composteiras de madeira; b) alface da horta comunitária e c) couve da horta comunitária



Fonte: Autoria própria (2018)

Para a eficácia do procedimento, foram realizados treinamentos com os funcionários para a separação correta do resíduo orgânico do refeitório e foram instaladas lixeiras destinadas para os alimentos passíveis de compostagem (frutas e cascas, legumes, verduras, grãos e sementes), bem como lixeiras separadas para os demais resíduos orgânicos.

B. Resíduos de concreto:

Em relação aos resíduos provenientes de atividades de concreto, as sobras de material acumuladas no caminhão betoneira e o concreto proveniente da lavagem deste equipamento foram reutilizados na confecção de defensas, de peças de pavimentação e de vasos para plantas, conforme Figura 32. As defensas foram utilizadas para limitar o estacionamento e para isolamento de áreas de movimentação de carga; as peças de pavimentação foram utilizadas nas mediações do escritório de apoio na área de pré-moldados; e os vasos para as plantas foram instalados na área do estacionamento, do refeitório e dos escritórios.

Figura 32 – a) Defensas confeccionadas com resíduos de concreto, b) peças de pavimentação confeccionadas com resíduos de concreto e c) vasos para plantas confeccionados com resíduos de concreto



Fonte: Geraldo Filho e Nagalli (2018)

Blocos de pavimentação e meios-fios são utilizados em grandes quantidades e podem ser aplicados em diversos lugares (por exemplo: calçadas, ciclovias, estacionamentos). Juan *et al.* (2018) considera que a utilização de agregados mistos reciclados na fabricação dessas peças é uma forma de aplicação sustentável dos resíduos.

No decorrer da obra, notou-se o acúmulo na central de concreto de corpos de prova e de blocos de concreto utilizados para empilhar as peças pré-moldadas. Ao invés de destinar esses resíduos de concreto para fora da obra, optou-se por reutilizá-los na delimitação da horta comunitária, Figura 33.

Figura 33 – Instalação de corpos de prova e blocos de concreto na horta comunitária



Fonte: Geraldo Filho e Nagalli (2018)

Ao organizar a horta comunitária, percebeu-se que o aproveitamento dos resíduos de concreto foi eficaz. Dessa forma, os blocos e os corpos de prova sobressalentes foram doados para escolas municipais de Paranaguá - PR, para serem utilizados como delimitadores de hortas.

C. EPIs:

Em relação aos resíduos provenientes de EPIs, todos os resíduos foram destinados como material contaminado (perigoso). Seguindo a sugestão mencionada no item 4.1.1, se os resíduos de EPIs tivessem sido separados entre resíduos contaminados e resíduos não contaminados, os últimos poderiam ser reutilizados como peça de reposição, após sua inteira desinfecção. Como exemplo, os uniformes que estivessem em bom estado e não contaminados poderiam ter sido higienizados e destinados como EPI de reposição nas frentes de serviço.

Adicionalmente, a empresa poderia estudar uma maneira de melhorar o desperdício com a substituição de materiais com baixa vida útil para materiais com maior resistência. Como exemplo, uma das luvas mais utilizadas na obra foi a luva pigmentada, a média de uso de uma luva pigmentada é de 2 dias, ao substituir a luva pigmentada por outro tipo de luva mais resistente, que possa ser utilizada por 15 dias, a geração de resíduos de EPIs seria menor. A substituição de um EPI por outro mais resistente, embora mais caro, se torna uma vantagem sustentável para o empreendimento e gera maior custo-benefício.

Como outro exemplo, citam-se as capas de chuva. Devido às ferragens e às madeiras das formas, as capas de chuva comuns rasgam com facilidade. Dessa forma, substituir as capas de chuva que foram utilizadas na obra por equipamentos de maior resistência aumentaria a vida útil do EPI e acabaria diminuindo a quantidade de resíduos gerados.

D. Estacas pré-moldadas e camisas metálicas:

O reaproveitamento das estacas foi bem-sucedido. Parte dos materiais foram reutilizados no próprio processo executivo e o restante foi reutilizado ou como insumo de outros processos ou através da reciclagem dos materiais. Em relação às camisas metálicas, não foram constatados desperdícios de insumos, pois a maior parte do material foi reutilizado no próprio processo executivo, e os pequenos resíduos gerados foram destinados para reciclagem, com a execução de calandragem para reutilização.

Destaca-se que a maior dificuldade encontrada foi relacionada à movimentação das estacas de concreto, a qual causou danos e rompimento de estacas. O concreto rompido foi triturado e reutilizado como agregado na obra de ligação das retroáreas. Porém, constata-se que, caso o transporte dos materiais não tivesse causado danos

às estacas, algumas estacas pré-moldadas poderiam ter sido reaproveitadas no próprio processo executivo.

4.1.4 Análise crítica da destinação dos resíduos

A destinação dos resíduos da obra foi feita corretamente e em conformidade com a Lei Federal nº 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Os resíduos gerados nas atividades realizadas no canteiro de obras foram destinados da seguinte forma:

- a) Resíduo orgânico: descartado em aterro sanitário;
- b) Sucata metálica, plástico e papel: vendidos para empresas recicladoras;
- c) Madeira: doado para casas de recuperação para ser transformada em caixotes, cachepôs e peças de artesanato;
- d) Resíduos perigosos: destinados para central de tratamento;
- e) RSS: destinados para incineração.

Como sugestão, alguns materiais que foram doados poderiam ter sido destinados para reutilização. Como exemplo, os resíduos de madeira poderiam ter sido transformados em cavaco ou reutilizados na fabricação de madeira processada e os resíduos metálicos em bom estado poderiam ter sido utilizados nas armações metálicas, como estribo e amarração de armações não estruturais, ou na fabricação de novos produtos metálicos (fios, vergas, etc.).

Após a análise da quantidade de copos descartáveis adquiridos ao longo da obra, verificou-se que foram utilizadas 947.500 unidades de copos descartáveis em 34 meses. Uma das opções para minimizar essa quantidade de resíduos plásticos gerados é realizar campanha para substituição de copos descartáveis por caneca individuais de alumínio ou acrílico. Podem ser inseridos nas garrafas ganchos para que as garrafas sejam engatadas nas cintas utilizadas pelos funcionários.

4.2 DEFINIÇÃO DAS PROPORÇÕES DE RESÍDUOS GERADOS

Para acompanhar o gerenciamento de resíduos da obra portuária, foram elaborados gráficos através das planilhas de controle de resíduos, a fim de definir e

analisar as proporções de resíduos gerados no empreendimento em relação à massa do resíduo. Para análise inicial, foram considerados os resíduos mais gerados no decorrer das obras, são eles:

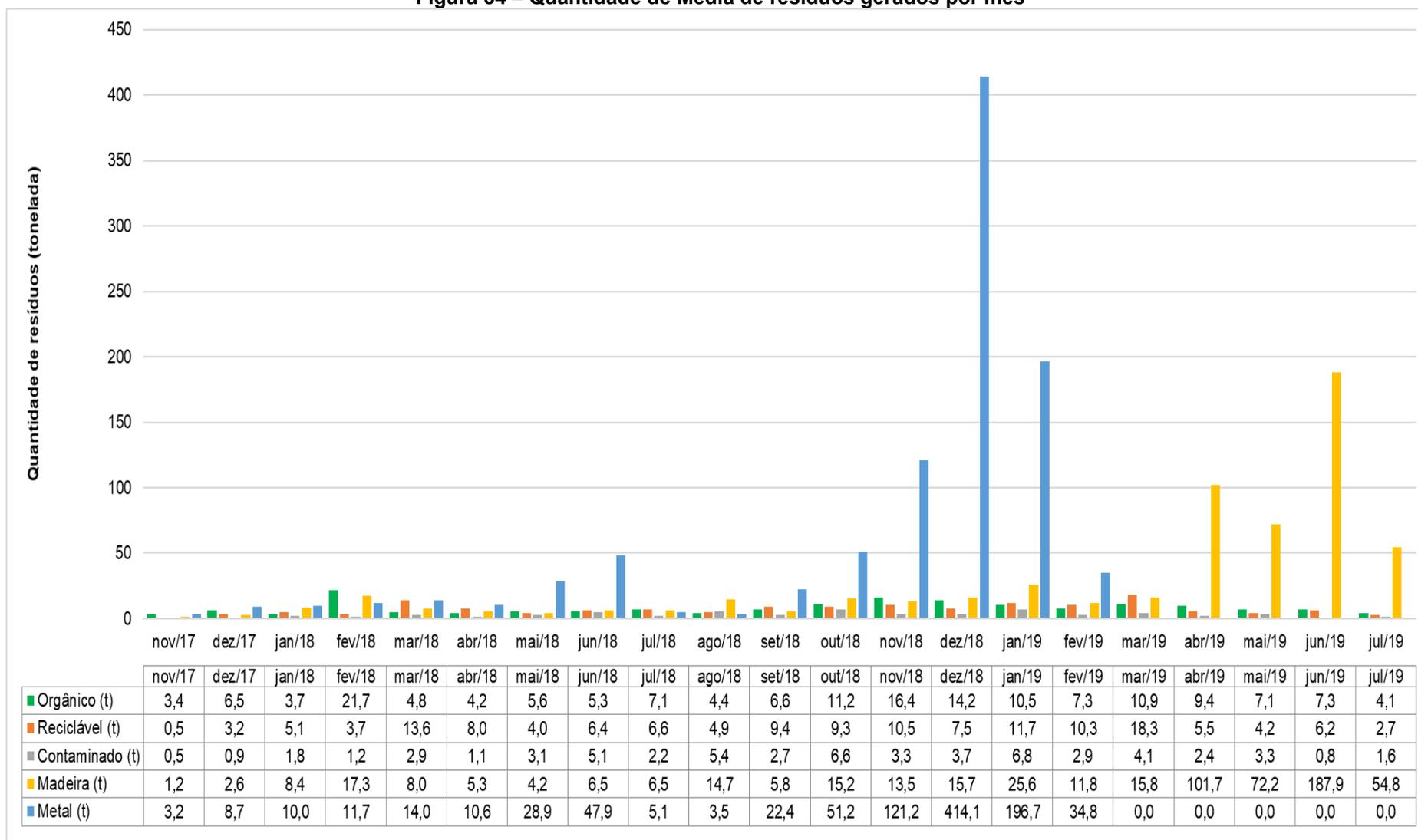
- a) Sucata metálica;
- b) Sucata de madeira;
- c) Resíduos orgânicos;
- d) Resíduos recicláveis – papel, papelão e plástico; e
- e) Resíduos contaminados.

Ao analisar as planilhas MTR, verificou-se a seguinte proporção de RCC gerados: sucata metálica – 48%; sucata de madeira – 29%; resíduo orgânico – 10%; resíduo reciclável – 8%; e resíduos contaminados – 4%.

Dessa forma, a maior parte dos RCC gerados é relacionada à sucata metálica, a qual engloba 48% do total dos resíduos considerados nesta análise. Ao analisar a Figura 34 (página 86), observa-se que a maior geração de resíduos metálicos ocorreu em dezembro de 2018, esta geração foi decorrente do término da construção do cais (término em dezembro de 2018) e da construção dos *dolphins* (término em novembro de 2018), ambas obras executadas com cravação de camisas metálicas. No mesmo período iniciou a demolição das estacas pré-moldadas, com a separação e destinação do aço proveniente da armação das estacas centrifugadas.

Ao dar continuidade à análise das planilhas MTR, observou-se que as sucatas de madeira somam 29% dos RCC verificados. Na Figura 34 (página 86), é possível constatar que a maior parte da produção dos resíduos de madeira está concentrada no final da obra. A produção elevada de resíduos de madeira nos meses de abril a julho de 2019 é decorrente da desmobilização do canteiro, com a retirada das coberturas de madeiras instaladas nas áreas de vivência, bem como a desmontagem da infraestrutura instalada para apoio nas áreas de pré-moldados e retroárea.

Figura 34 – Quantidade de Média de resíduos gerados por mês



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.1 Comparativo entre a quantidade de funcionários e a geração de resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos gerados na obra são referentes aos restos de alimentos não destinados para compostagem e aos resíduos de materiais de higiene (papel toalha, guardanapo e papel higiênico). Para avaliar a quantidade média de resíduos orgânicos produzidos por funcionário foi elaborado um gráfico com as quantidades mensais de funcionários e de produção de resíduos orgânicos na obra por mês, de novembro de 2017 até julho de 2019.

Em relação à proporção de funcionários mensais versus a produção de resíduos orgânicos, Figura 35 (página 89), percebe-se que houve dois picos de geração de resíduos orgânicos em relação à quantidade de funcionários em atividade. O primeiro pico de geração de resíduos orgânicos observado ocorreu em fevereiro de 2018 e o segundo em novembro de 2018.

No que se refere a fevereiro de 2018, no início da obra foi realizada limpeza no canteiro de obras da obra anterior, dessa forma, foi destinada alta quantidade de resíduos orgânicos do canteiro de obras antigo para viabilizar o início das atividades no novo canteiro de obras. Em relação a novembro de 2018, percebe-se que o pico de quantidade de funcionários e de atividades em execução ocorreu nos últimos meses de 2018, período o qual estava com 3 das maiores obras em andamento - cais, *dolphins* e retroárea.

É possível avaliar que a geração de resíduos orgânicos está proporcionalmente ligada à quantidade de funcionários em obra, ou seja, quanto maior a quantidade de funcionários, maior a geração de resíduos orgânicos. Dessa forma, a execução simultânea do cais, dos *dolphins* e da retroárea acarretou acréscimo de funcionários na obra e, conseqüentemente, aumento na geração de resíduos orgânicos no período. A Tabela 4 apresenta a média mensal de produção de resíduo orgânico por funcionário.

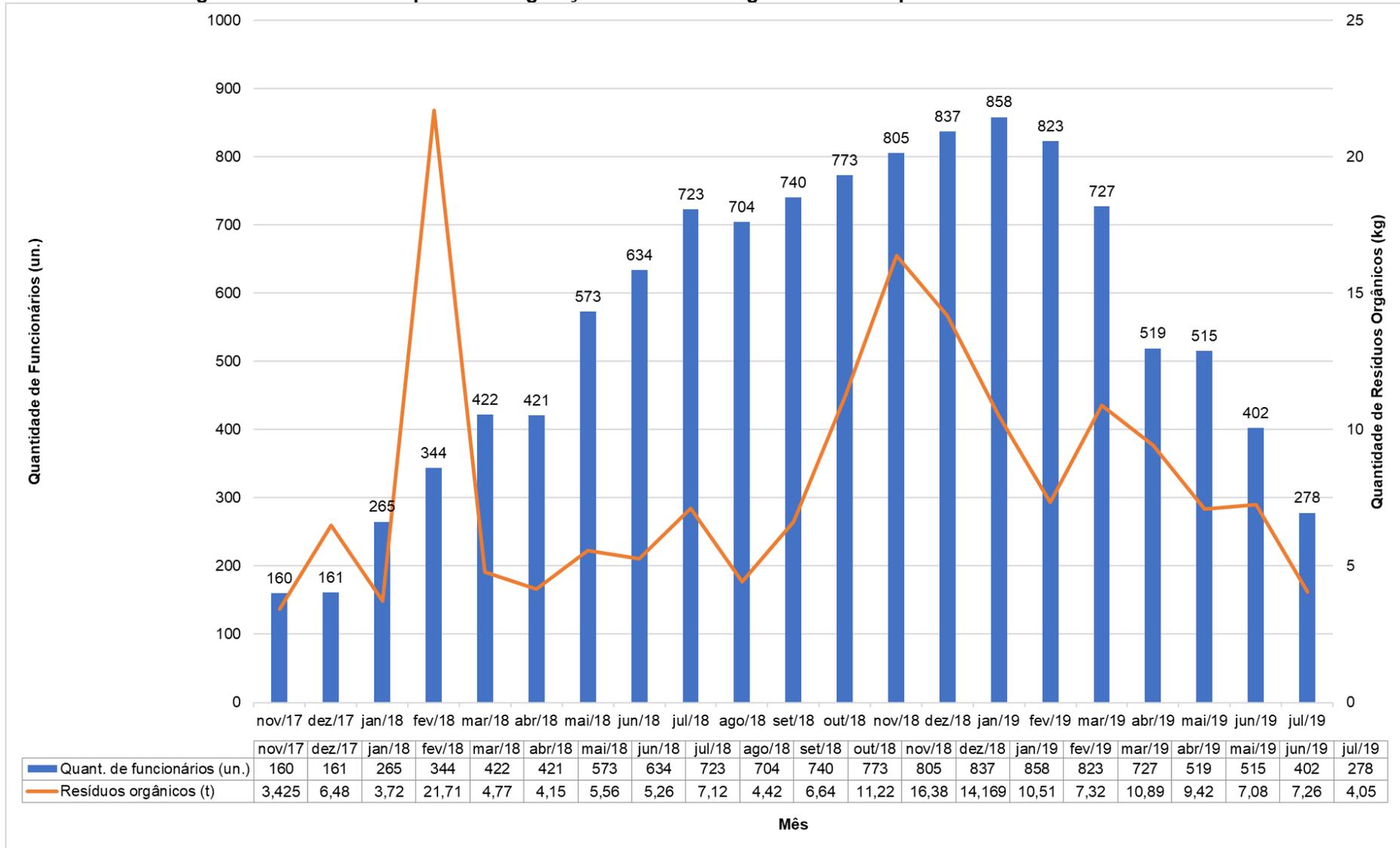
Tabela 4 – Média de produção de resíduo orgânico por funcionário por mês

	2018											2019					
	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
Funcionários (un.)	422	421	573	634	723	704	740	773	805	837	858	823	727	519	515	402	278
Resíduo orgânico (kg)	4770	4150	5560	5260	7120	4420	6640	11220	16380	14169	10510	7320	10890	9420	7080	7260	4050
Resíduo orgânico por funcionário (kg)	11,30	9,86	9,70	8,30	9,85	6,28	8,97	14,51	20,35	16,93	12,25	8,89	14,98	18,15	13,75	18,06	14,57

Fonte: Autoria própria (2021)

Devido ao fato de o pico de produção de resíduo orgânico que ocorreu em fevereiro de 2018 ser um caso específico, para calcular a média mensal de produção de resíduo orgânico por funcionário, foram considerados na Tabela 4 os dados a partir de março de 2018. Ao considerar a quantidade de resíduo orgânico gerada de março de 2018 a julho de 2019, é possível calcular que cada funcionário produz, em média, $12,75 \pm 3,94$ kg de resíduo orgânico por mês.

Figura 35 – Gráfico: comparativo da geração de resíduos orgânicos com a quantidade de funcionários na obra



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.2 Comparativo entre a quantidade de funcionários e a geração de resíduos de serviço de saúde

Dentre os resíduos de serviço de saúde (RSS) gerados no ambulatório desta obra, estão: curativos simples, testes de glicemia, limpeza de cortes, entre outros. Por se tratar de materiais leves, dentre os resíduos gerados, os RSS foram os que produziram a menor massa total dos RCC analisados.

A contabilização dos RSS era realizada através da retirada mensal de uma bombona de 50 litros deste resíduo. A quantidade de resíduos era pesada no local de destino do material, porém, o certificado de destinação com a massa total do resíduo produzido em cada mês era encaminhado a cada 2 ou 3 meses. É possível identificar que o gráfico de proporção de funcionários mensais versus a produção de RSS segue uma tendência, Figura 36 (página 91).

A Tabela 5 apresenta um resumo do gráfico completo apresentado na Figura 36. Considerando a quantidade de RSS gerada entre os meses de novembro de 2017 a julho de 2019, pode-se constatar que cada funcionário produz, em média, 0,0081 kg de RSS por mês, ou seja, $8,14 \pm 2,84$ g de RSS mensal por funcionário.

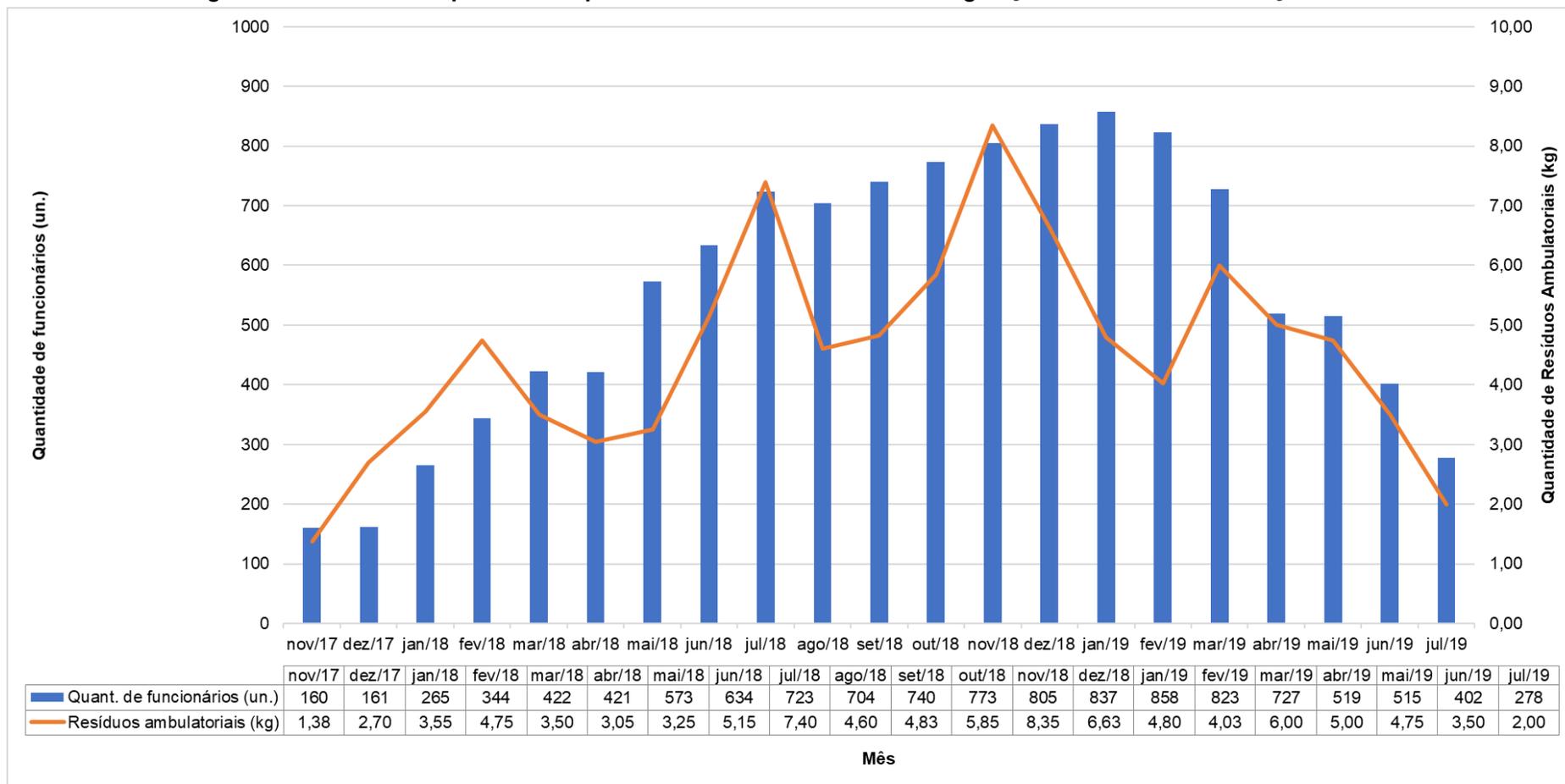
Tabela 5 – Média de produção de resíduo ambulatorial por funcionário por mês

Total de funcionários (un.)	11684
Total de RSS (kg)	95,07
Média de funcionários por mês (un.)	556,38
Média de RSS por mês (kg)	4,53
Média de RSS por funcionário por mês (kg)	0,00814

Fonte: Aatoria própria (2021)

É possível perceber na Figura 36 que a produção desses resíduos foi maior em julho e em novembro de 2018. No segundo semestre de 2018 ocorreu o pico de produção de pré-moldados, com atividades de estaqueamento e com alto volume de obras em execução. Por consequência, atividades que envolvem ferragens e concretagens acarretam maior número necessário de execução de limpezas de cortes e curativos nos funcionários.

Figura 36 – Gráfico: comparativo da quantidade de trabalhadores com a geração de resíduos de serviço de saúde



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.3 Comparativo entre a quantidade de funcionários e a geração de resíduos perigosos

Foi verificada a proporção de funcionários mensais versus a produção de resíduos contaminados. Na central de resíduos contaminados eram descartados EPIs, estopas contaminadas com óleo, serragem contaminada com óleo, materiais contaminados com lubrificantes, resíduos de aditivos, embalagens contendo materiais perigosos, lâmpadas, entre outros.

Foi construída uma central de resíduos contaminados coberta e com boa ventilação, dessa forma, a limpeza fina e a destinação acumulada de resíduos contaminados eram feitas a cada 1, 2 ou 3 meses, a depender da quantidade de resíduos contaminados acumulada. Ao analisar o gráfico (Figura 37, página 93), percebe-se que, mesmo que tenham ocorrido limpezas finas a cada intervalo de meses, a proporção de funcionários mensais versus a produção de resíduos contaminados segue uma tendência.

A Tabela 6 apresenta a média de produção de resíduos contaminados por mês. Ao analisar a quantidade de resíduos contaminados gerada entre os meses de novembro de 2017 a julho de 2019, percebe-se que cada funcionário produz, em média, $5,33 \pm 1,89$ kg de resíduos contaminados por mês.

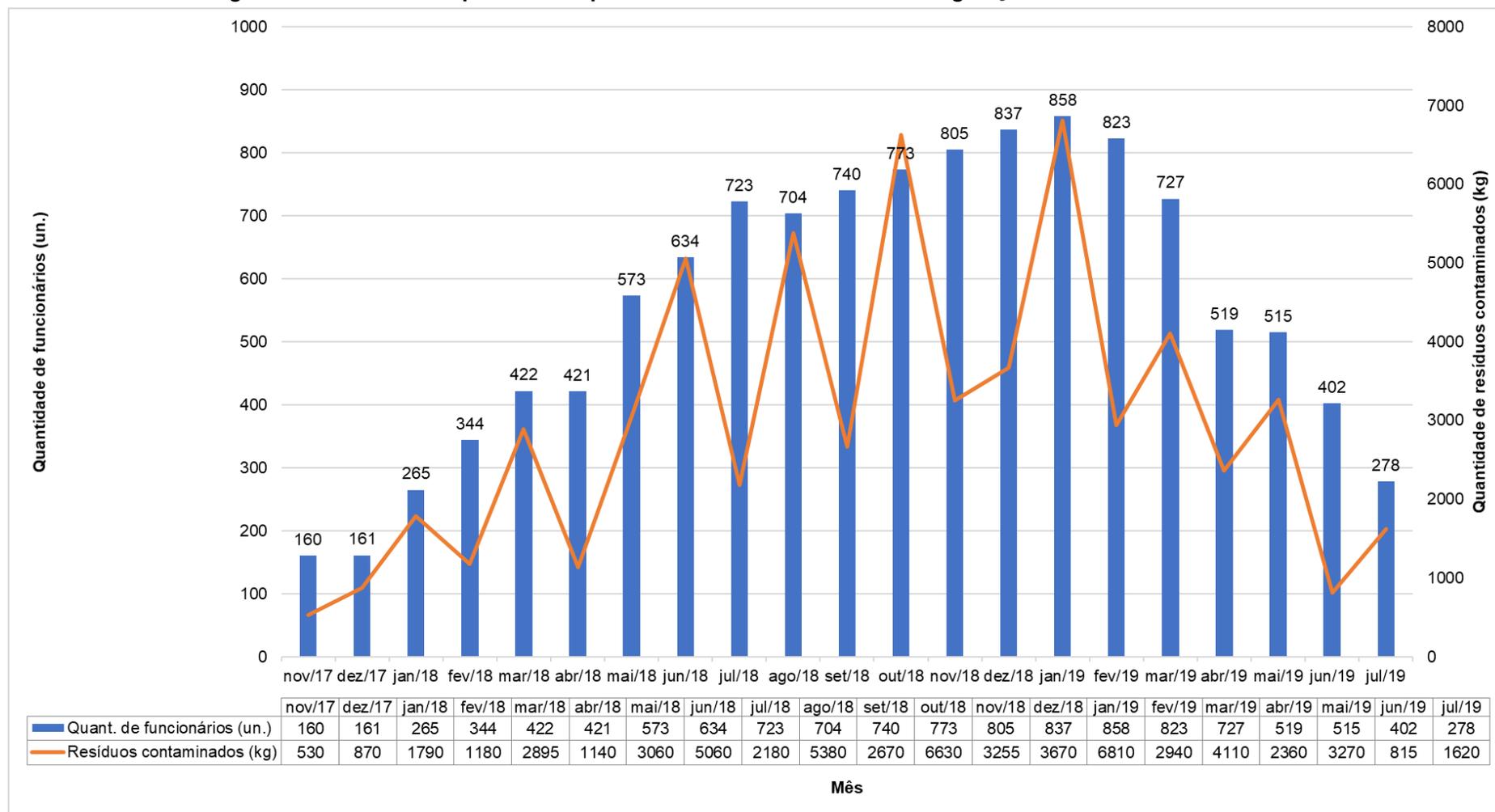
Tabela 6 – Média de produção de resíduo contaminado por funcionário por mês

Total de funcionários (un.)	11684
Total de resíduos contaminados (kg)	62235
Média de funcionários por mês (un.)	556,38
Média de resíduos contaminados por mês (kg)	2963,57
Média de resíduos contaminados por funcionário por mês (kg)	5,33

Fonte: Autoria própria (2021)

Nota-se na Figura 37, que nos meses em que houve atividades efetivas de obras, a geração de resíduos contaminados apresentou tendência bi ou trimestral, apresentando pontos altos e baixos, o que é justificado pela limpeza fina que ocorria na central de resíduos contaminados. A média de geração de resíduos contaminados foi de $2.963,57 \pm 1.774,87$ kg por mês.

Figura 37 – Gráfico: comparativo da quantidade de trabalhadores com a geração de resíduos contaminados



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.4 Comparativo entre a quantidade de funcionários e a utilização de copos plásticos

A única análise que inicia em outubro de 2016 e finaliza em julho de 2019 é relacionada à aquisição e utilização de copos plásticos ao longo da obra, visto que os funcionários da manutenção inicial do canteiro de obras também utilizaram os copos plásticos contabilizados na planilha de compras do empreendimento. Foram adquiridas e descartadas 947.500 unidades de copos plásticos desde o início da obra.

Os copos plásticos foram adquiridos em grandes quantidades no início da obra e estocados para serem utilizados. No final da obra, observou-se que não havia quantidade expressiva de copos plásticos disponíveis para a obra seguinte, ou seja, praticamente todos os copos plásticos foram utilizados.

Ao calcular a proporção de quantidade de funcionários versus quantidade de copos plásticos adquiridos, é possível verificar que foram utilizados, em média, $27.867,6 \pm 19.131,9$ unidades de copos plásticos por mês. Comparando com a quantidade mensal de funcionários trabalhando, calcula-se a média de utilização de 70,5 copos por mês por funcionário, ou seja, em média cada trabalhador utiliza em torno de 3 copos plásticos por dia (Tabela 7).

Tabela 7 – Média de utilização de copos plásticos por funcionário por mês

Total de funcionários (un.)	13440
Total de copos plásticos adquiridos (un.)	947500
Média de funcionários por mês (un.)	395,29
Média de copos plásticos por mês (un.)	27867,65
Média de copos plásticos por funcionário por mês (un.)	70,50
Média de copos plásticos por funcionário por dia (un.)	3,20

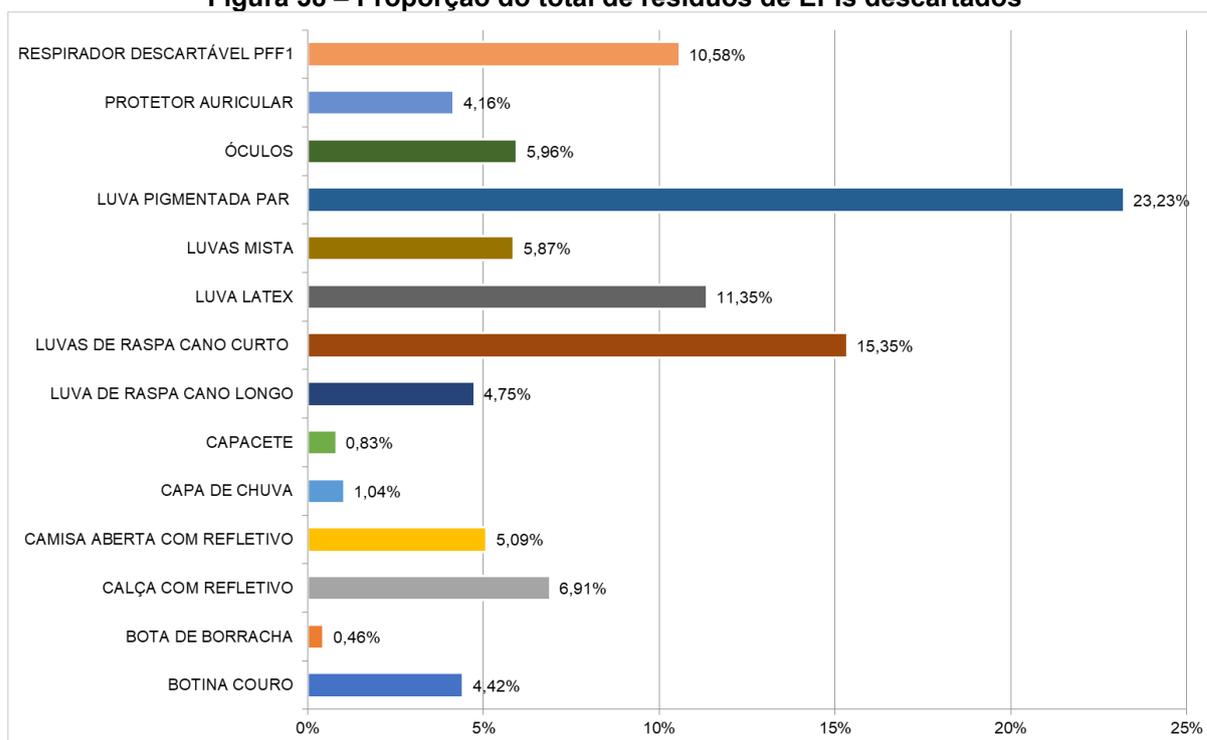
Fonte: Autoria própria (2021)

No item 4.1.4 foi realizada a análise crítica da destinação dos copos plásticos. Como já discutido anteriormente, existem formas de substituir a utilização de copos descartáveis e, assim, diminuir a geração de resíduos plásticos na construção civil. Essa substituição pode ocorrer através de campanhas orientativas para substituir os copos plásticos por canecas metálicas ou acrílicas individuais. A dificuldade constatada com essa substituição é em relação à higienização dessas canecas, visto que cada funcionário ficaria responsável por manter sua caneca limpa.

4.2.5 Comparativo entre a quantidade de funcionários e os resíduos de EPIs

Foi realizada análise comparativa da quantidade de funcionários que trabalharam mensalmente na obra com a quantidade de resíduos de EPIs gerada no mesmo período. Para a compreensão dos resíduos de EPIs, o percentual total de cada equipamento descartado foi contabilizado na Figura 38.

Figura 38 – Proporção do total de resíduos de EPIs descartados



Fonte: Autoria própria (2021)

É possível observar que os equipamentos mais descartados são luvas pigmentadas. Todos os funcionários utilizam luvas pigmentadas nas frentes de serviço, esse EPI é necessário para a execução de atividades em geral. Conforme já discutido anteriormente, as luvas pigmentadas, em média, duram 2 dias, após esse período as luvas acabam rasgando e sendo descartadas. Uma maneira de diminuir a geração de resíduos de luvas pigmentadas é através da substituição desse EPI por outro tipo de luva mais resistente, com maior vida útil.

É possível identificar na Figura 38 que os materiais com menor índice de descarte foram as botas de borracha. Os funcionários recebiam apenas uma bota de

borracha, como esse EPI era utilizado apenas nas atividades de concretagem ou em dias chuvosos, seu descarte ocorria apenas quando a bota era danificada.

Ao analisar o gráfico comparativo da quantidade de funcionários com a quantidade de resíduos de EPIs gerados (Figura 39, página 97), é possível verificar que a quantidade de EPIs descartados é proporcional à quantidade de funcionários na obra. A maior geração de resíduos de EPIs ocorreu no período que as atividades de estaqueamento, concretagem, carpintaria e armação estavam em execução.

Arten e Nagalli (2013) analisaram em sua pesquisa a geração de resíduos de EPI nesta mesma obra portuária. Os autores concluíram que obras de construção pesada geram alto índice de resíduos de EPIs, não só pelo grande número de funções, mas também por empregarem alta quantidade de funcionários.

Para calcular a média de resíduos de EPIs gerados por mês e a média de descarte de EPIs por funcionários por mês, Tabela 8, foram contabilizados apenas os meses em que houve descarte destes equipamentos, ou seja, de dezembro de 2017 a maio de 2019.

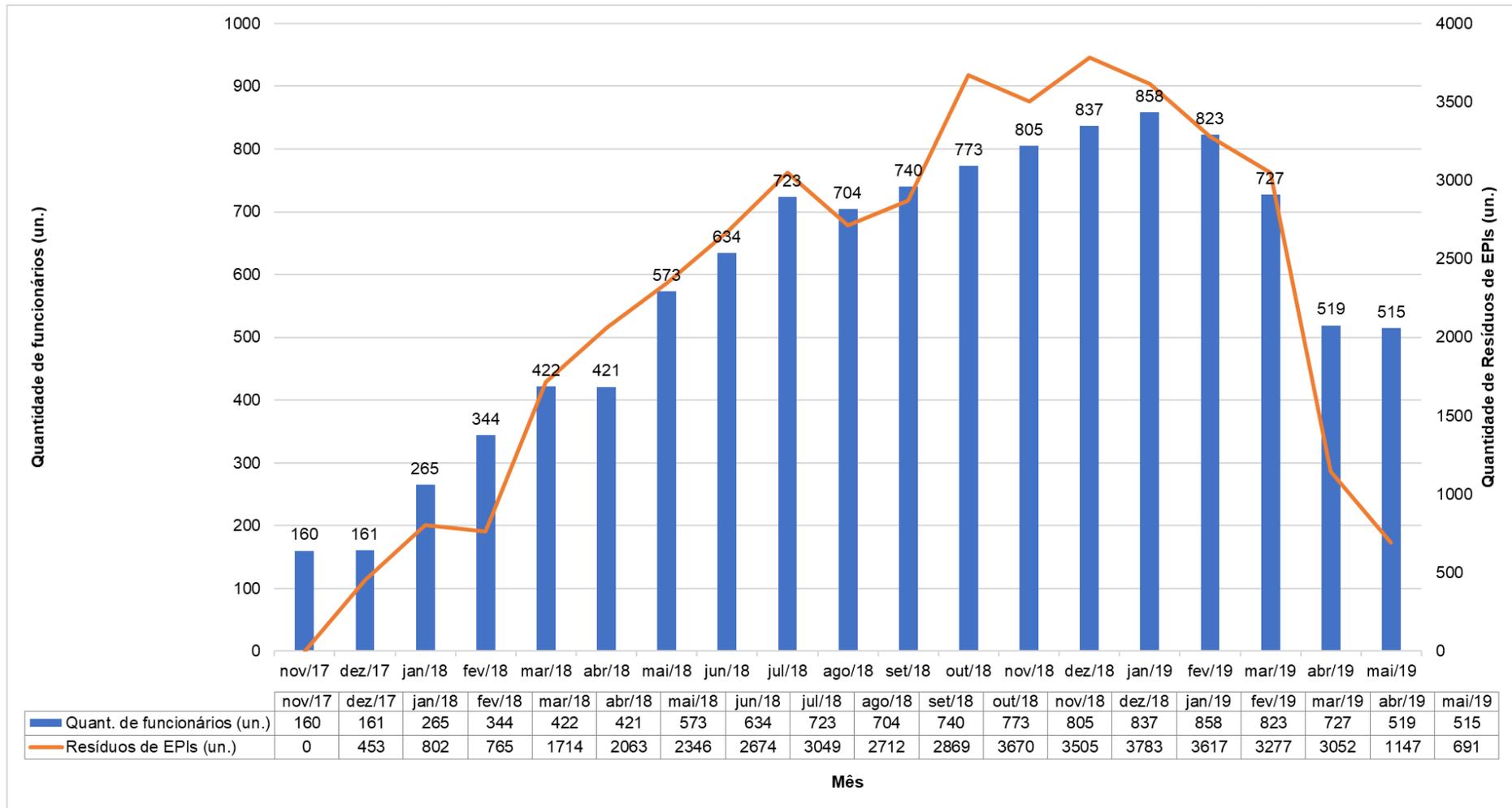
Tabela 8 – Estimativa de resíduos de EPIs gerados por funcionário por mês

Total de funcionários (un.)	10844
Total de resíduos de EPIs gerados (un.)	42189
Média de funcionários por mês (un.)	602,44
Média de resíduos de EPIs gerados por mês (un.)	2343,83
Média de resíduos de EPIs por funcionário por mês (un.)	3,89

Fonte: Autoria própria (2021)

Constata-se que, em média, são descartados mensalmente 2.344 unidades de resíduos de EPIs, em sua maioria estão as luvas. Somando o quantitativo de resíduos provenientes de todos os tipos de luvas da obra, são descartadas por mês 1.117 unidades de luvas. Ao calcular a proporção de resíduos de EPIs produzidos por funcionários, a média de descarte é de, aproximadamente, $4 \pm 0,95$ unidades de EPIs por funcionário por mês.

Figura 39 – Gráfico: comparativo da quantidade de funcionários com a quantidade de resíduos de EPIs gerados



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.6 Comparativo entre a compra de EPIs e os resíduos de EPIs

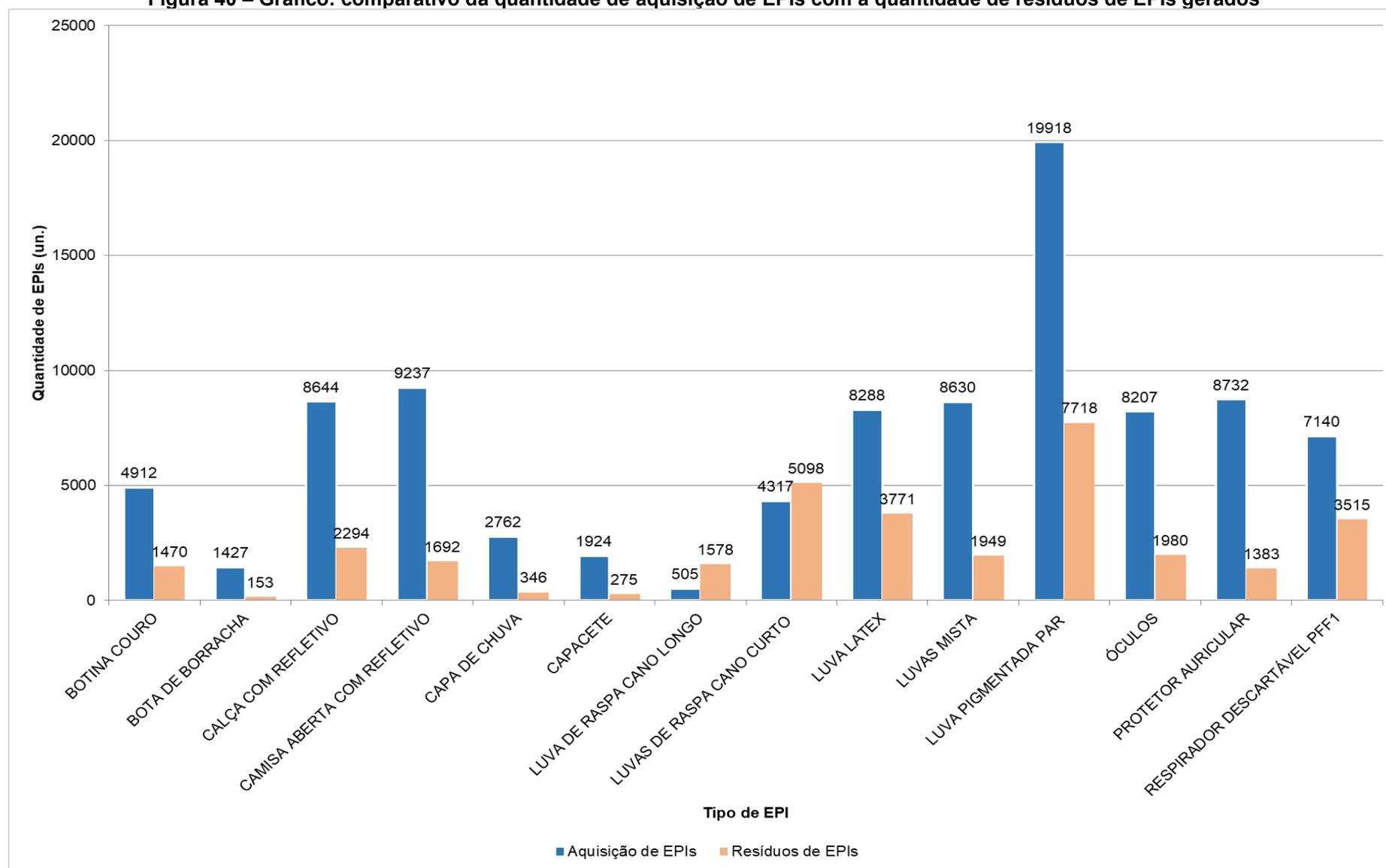
Foi realizada a análise comparativa entre a quantidade de EPIs adquiridos ao longo da obra com a quantidade de resíduos de EPIs gerados no mesmo período. É possível perceber na Figura 40 (página 99) que o EPI mais adquirido foi a luva pigmentada. Conforme já analisado no item 4.1.3, cada luva pigmentada era utilizada em média por 2 dias, após esse período, o equipamento por muitas vezes rasgava e era descartado. Por esse motivo, este EPI era adquirido com maior frequência.

Ao verificar o percentual de cada tipo de EPI descartado, percebe-se que a soma dos resíduos gerados por descarte de luvas representa, aproximadamente, 61% do total de resíduos de EPIs. No mesmo sentido das luvas pigmentadas, as demais luvas também rasgam com facilidade ao serem utilizadas por trabalhadores nas frentes de serviço, principalmente com atividades de armação e carpintaria em execução.

Ao verificar as proporções de EPIs adquiridos e descartados, observa-se que apenas 35% dos equipamentos comprados no decorrer da obra foram descartados, dessa forma, constatou-se que muitos EPIs foram extraviados e/ou estocados para a próxima obra do porto. Com as atividades em execução, foi comum perceber em campo a quebra de EPIs e a necessidade de adquirir novos equipamentos para os trabalhadores. Foi observado também em obra, grande quantidade de extravio de EPIs, o que acarretou necessidade de aquisição nos períodos com mais atividades em execução.

Quanto à reciclagem de EPIs, constatou-se que os materiais não eram separados para reciclagem e que todos os EPIs eram destinados para a Central de Contaminados. De acordo com Arten e Nagalli (2013), é possível reciclar os resíduos de EPIs, a depender dos materiais de fabricação dos equipamentos. Os autores citaram em sua pesquisa que os resíduos dos EPIs plásticos (capacete, óculos de proteção, haste dos óculos e máscaras faciais) podem ser destinados para empresas recicladoras especializadas e transformados em outros produtos. Em relação a calçados de segurança, luvas e demais materiais de couro, os autores consideraram que os resíduos apresentam bom isolamento térmico e alta durabilidade e que podem ser utilizados na fabricação de blocos de concreto. As biqueiras de aço de sapatos de segurança também podem ser recicladas, bem como as luvas de látex, que podem ser utilizadas para melhorar as propriedades do asfalto (ARTEN e NAGALLI, 2013).

Figura 40 – Gráfico: comparativo da quantidade de aquisição de EPIs com a quantidade de resíduos de EPIs gerados



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.7 Definição de indicadores de geração de resíduos por funcionários

Após análise das proporções de resíduos gerados no empreendimento, foi possível definir indicadores de geração de resíduos. Os indicadores poderão ser utilizados para embasar o planejamento da geração de resíduos de obras futuras.

No item 4.2 foram detalhadas as proporções de gerações de resíduos versus quantidade de funcionários. Neste subitem será apresentado o resumo dos indicadores de geração de resíduos calculados neste estudo de caso. O Quadro 8 mostra os indicadores de geração de resíduos orgânicos, ambulatoriais, de copos plásticos e de EPIs mensais por funcionário.

Quadro 10 – Indicadores de geração de resíduos mensais por funcionário

TIPO DE RESÍDUOS	KPI MENSAL
Resíduos orgânicos	12,75 kg/funcionário
Resíduos ambulatoriais	8,14 g/funcionário
Resíduos contaminados	5,33 kg/funcionário
Utilização de copos plásticos	70,50 un/funcionário
Geração de resíduos de EPIs	3,89 un/funcionário

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao executar uma nova obra com atividades semelhantes e com condições climáticas análogas às deste estudo de caso, existe a probabilidade de um funcionário gerar em torno de 12,75 kg de resíduos orgânicos por mês. De acordo com a densidade dos resíduos, uma caçamba de 5 m³ acomoda quantidade próxima a 660 kg de resíduos orgânicos, dessa forma, a depender da quantidade de funcionários que será necessária para a execução de obras semelhantes, é possível estipular, considerando o desvio padrão, a quantidade de caçambas que serão necessárias no canteiro, bem como a periodicidade da destinação e da limpeza delas.

De forma análoga, a produção média de resíduo contaminado por funcionário é de 5,33 kg por mês, nesta quantidade estão incluídos os EPIs, as estopas e os panos contaminadas com óleo e desmoldante. Dessa forma, conhecendo a densidade média dos EPIs (densidade média do resíduo plástico desta obra igual a 87 kg/m³) e a densidade média de trapos (literatura cita, aproximadamente, 119 kg/m³), a quantidade de caçambas necessárias em uma obra portuária para destinação de

resíduos contaminados pode ser calculada com base na quantidade de funcionários mensais.

Em relação aos RSS, devido às coletas executadas mensalmente, a bombona de 50 litros nunca encheu em sua totalidade. Se quando o descarte dos RSS foi planejado, a equipe tivesse acesso ao índice de produção de 8,14 g de RSS por funcionário por mês, o transporte e o descarte desse resíduo poderia ter sido melhor executado. Percebe-se que poderia ter sido realizada a retirada dos RSS apenas após a bombona cheia, não precisando retirar mensalmente.

Ao analisar o consumo médio de copos plásticos por funcionário por dia, também é possível dimensionar a quantidade de tubos de PVC necessária 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 PVC de 100 mm como porta-copos, dificultando assim a mistura de resíduos.

Em relação aos resíduos de EPIs, foram constatados dois grandes problemas: extravio de equipamentos e mistura de resíduo de EPI. Apenas 35% dos EPIs foram descartados, ou seja, houve grande quantidade de equipamentos extraviados ao longo do empreendimento. Dos EPIs descartados, constatou-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) constataram em sua pesquisa que a maioria dos resíduos de EPIs contemplam materiais recicláveis, como plástico e borracha, e consideram que existe potencial para reciclagem de resíduos de EPIs de acordo com o tipo de material.

Devido à quantidade de EPIs gerados ao longo da obra, constatou-se a não necessidade de utilização de caçambas de 5 m³ para destinação dos resíduos de EPIs. Poderiam ter sido mobilizadas duas bombonas de 200 litros próximo às áreas de entrega do novo EPI, uma destinada aos resíduos contaminados e outra aos materiais recicláveis (plástico), dessa forma, a separação do resíduo ocorreria com maior facilidade.

4.3 DEFINIÇÃO DAS PROPORÇÕES DE RESÍDUOS PROVENIENTES DAS ATIVIDADES EXECUTADAS

A fim de definir as proporções de resíduos gerados no decorrer das atividades executivas de obra, foram analisadas as gerações mensais dos RCC em comparação com as áreas das obras construídas. Para iniciar a análise, a média das áreas executadas na construção do cais, dos *dolphins*, da retroárea e da ligação das retroáreas foram separadas de acordo com os meses relacionados à execução de cada uma das 4 obras. Para elaborar o Quadro 9, foram divididas as áreas de cada uma das estruturas construída pela quantidade de meses necessária para sua execução.

Quadro 11 – Média da área total construída por mês

		CAIS (M ²)	DOLPHINS (M ²)	RETROÁREA (M ²)	RETROÁREA LIGAÇÃO (M ²)	ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA POR MÊS (M ²)
2017	NOV	846,39		7895,72		8742,11
	DEZ	846,39		7895,72		8742,11
2018	JAN	846,39		7895,72		8742,11
	FEV	846,39		7895,72		8742,11
	MAR	846,39		7895,72		8742,11
	ABR	846,39		7895,72		8742,11
	MAI	846,39		7895,72		8742,11
	JUN	846,39		7895,72		8742,11
	JUL	846,39	80,00	7895,72		8822,11
	AGO	846,39	80,00	7895,72		8822,11
	SET	846,39	80,00	7895,72		8822,11
	OUT	846,39	80,00	7895,72		8822,11
	NOV	846,39	80,00	7895,72		8822,11
	DEZ			7895,72		7895,72
2019	JAN			7895,72		7895,72
	FEV			7895,72		7895,72
	MAR			7895,72		7895,72
	ABR			7895,72		7895,72
	MAI			7895,72		7895,72
	JUN				7971,26	7971,26
	JUL				7971,26	7971,26

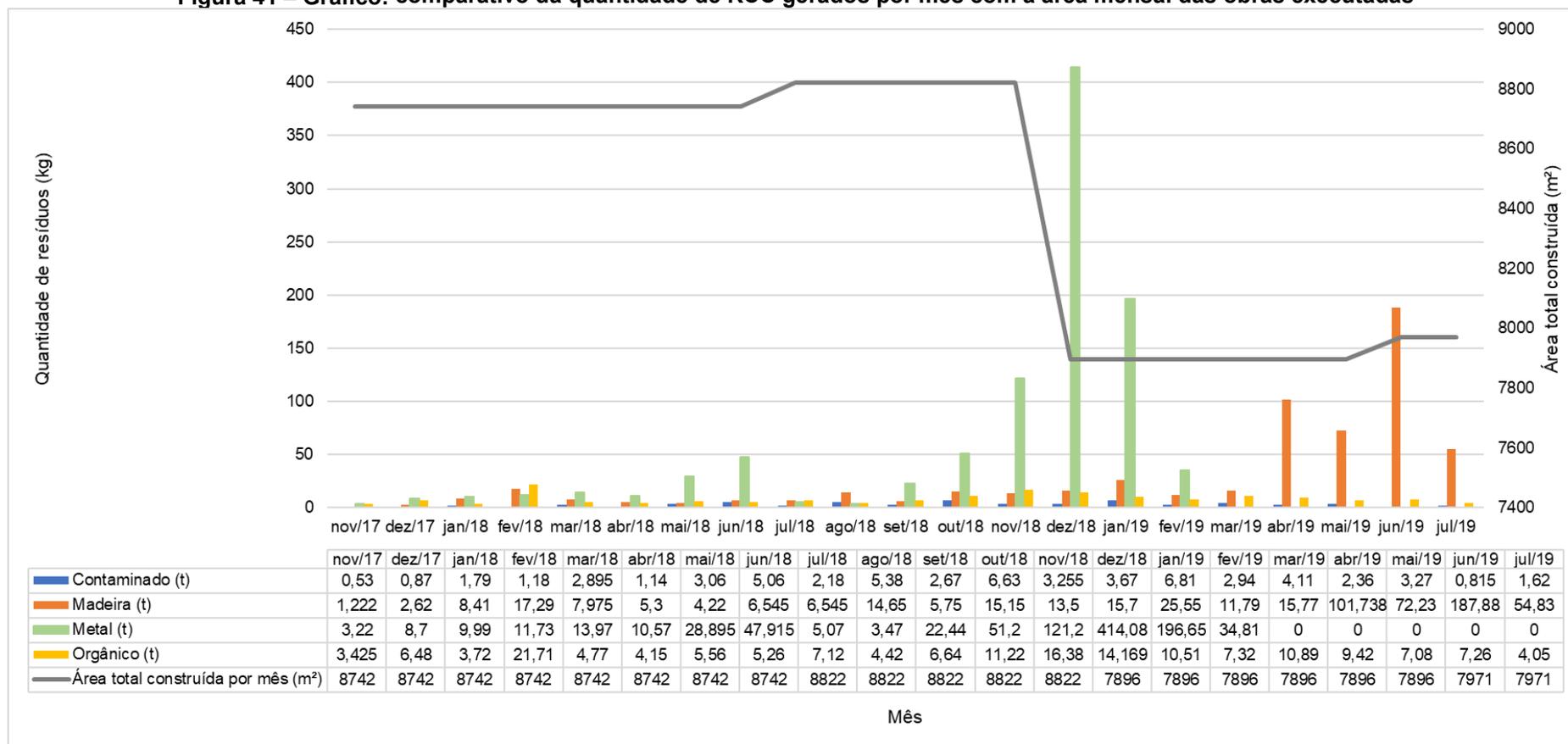
Fonte: Aatoria própria (2021)

Conforme já relatado, as atividades efetivas de construção iniciaram no mês de novembro de 2017. Em relação ao término da obra, as atividades de construção civil (cais, *dolphins*, retroárea e ligação das retroáreas) finalizaram em julho de 2019. Nos meses subsequentes, alguns funcionários continuaram com atividades de

organização e desmobilização de canteiro de obras, porém, esse período não será contabilizado nesta análise.

Na Figura 41 foi realizado o comparativo da quantidade de RCC gerados por mês com a área mensal das obras executadas. Para a comparação citada, foram considerados os resíduos contaminados, de madeira, metálicos e orgânicos. Ao analisar o gráfico é possível observar uma redução pontual na área de construção das obras, em decorrência do término das atividades relacionadas ao cais e aos *dolphins* entre os meses de novembro e dezembro de 2018. É possível também verificar acréscimo pontual de geração de resíduos metálicos em dezembro de 2018 e de madeira em junho de 2019. As análises serão detalhadas nos próximos subcapítulos.

Figura 41 – Gráfico: comparativo da quantidade de RCC gerados por mês com a área mensal das obras executadas



Fonte: Autoria própria (2021)

4.3.1 Comparativo entre a área construída e os resíduos contaminados

Ao comparar, na Figura 41 (página 104), o quantitativo de geração de resíduos contaminados com a execução da obra, observa-se que a geração deste resíduo não segue uma tendência em relação às atividades que estão em andamento. Como já informado anteriormente, foi construída uma central de contaminados que recebia limpeza fina e destinação dos resíduos acumulados a cada 1, 2 ou 3 meses, a depender da quantidade de resíduos contaminados.

Dessa forma, para o estudo da proporção da geração dos resíduos contaminados, para os meses em que esses resíduos não foram contabilizados foi calculada e considerada a média com o mês subsequente. A Tabela 9 mostra a proporção de geração de resíduos contaminados com o avanço da execução das obras.

Tabela 9 – Proporção de resíduos contaminados por área construída

Área total construída (m ²)	177364,34
Total de resíduos contaminados (t)	62,24
Média mensal de área construída (m ²)	8445,92
Média mensal de resíduos contaminados (t)	2,96
Média mensal de resíduos contaminados por área construída (kg/m ²)	0,353

Fonte: Autoria própria (2021)

É possível observar que são gerados em média 2.963,57 kg de resíduos contaminados na obra por mês. Se comparado esse valor com a área mensal executada, constata-se que em média são gerados $0,35 \pm 0,21$ kg de resíduos contaminados por área construída por mês.

Hu *et al.* (2021), ao estimar a geração de resíduos em obras comerciais, calculou a geração de 0,06 kg de resíduos contaminados por m² de área construída. Wang *et al.* (2020) verificou em seu estudo de obras residenciais a geração de 0,10 kg de resíduos contaminados por m² de área construída. Esses valores encontrados na literatura são menores que os valores calculados nesta pesquisa. Uma das razões da diferença dos indicadores calculados é que ambos os autores estudaram obras residenciais, as quais não envolvem equipamentos tão pesados quanto obras portuárias, utilizando assim menores quantidades de óleos. Outro motivo constatado

para a diferença de valores constatados é que na obra portuária foram utilizados desmoldantes para a desforma dos pré-moldados com desmoldantes, causando assim contaminação em embalagens e em EPIs.

Na central de resíduos contaminados eram descartados EPIs, estopas contaminadas com óleo, serragem contaminada com óleo, materiais contaminados com lubrificantes, resíduos de aditivos, entre outros. Dessa forma, os resíduos contaminados estiveram muito presentes nas atividades com utilização de óleo, de desmoldantes e de aditivos, como por exemplo, na utilização de desmoldante de formas metálicas que ocorreram ao longo de toda a obra. Esses materiais contaminavam panos, estopas e EPIs, gerando resíduos contaminados.

4.3.2 Comparativo entre a área construída e os resíduos de madeira

Em relação ao comparativo de geração de resíduos de madeira com as obras em execução, fica evidente que a maior parte da produção de resíduos de madeira, cerca de 67%, ocorreram nos meses de abril a julho de 2019. Conforme já comentado anteriormente, a alta geração de sucatas de madeiras nos últimos 4 meses de obra ocorreu em decorrência da desmobilização do canteiro de obras, visto que os apoios, estruturas e coberturas feitas com madeira foram desmontadas e os resíduos foram destinados. A Tabela 10 apresenta a proporção de resíduos de madeira gerados por área construída.

Tabela 10 – Proporção de resíduos de madeira por área construída

Área total construída (m ²)	177364,34
Total de resíduos de madeira (t)	594,67
Média mensal de área construída (m ²)	8445,92
Média mensal de resíduos de madeira (t)	28,32
Média mensal de resíduos de madeira por área construída (kg/m ²)	3,51

Fonte: Autoria própria (2021)

Em relação à proporção de resíduos de madeira com a área de obra executada, foi contabilizada a massa total de resíduo gerada entre os meses em que houve obras efetivas no canteiro. Ao contabilizar somente o período de desmobilização do canteiro de obras, a produção média de sucata de madeira gerada é de 104.169,50 kg por

mês. Para definir a proporção de resíduos de madeira gerados em relação à área de obra executada, foi contabilizada a geração de resíduos nos meses em que houve obras efetivas (cais, *dolphins*, retroárea e ligação de retroáreas). Desta forma, observa-se na Tabela 10 que são gerados em média 3,51 kg de resíduos de madeira por área construída por mês.

O desvio padrão calculado para a produção de sucata de madeira por área construída é de 5,48 kg/m² por mês. Este alto índice é decorrente da quantidade de madeira descartada com a desmobilização do canteiro de obras, contabilizada nos últimos 4 meses de obra.

Foi executado um estudo semelhante na construção de um edifício residencial com estrutura de concreto armado na China. Em seu estudo, Li *et al.* (2013) calculou a geração de 7,3 kg de resíduos de madeira por m² de área construída. Por se tratar da construção de um edifício residencial, em sua maioria, são utilizadas formas de madeira para as concretagens de obras convencionais. Já na obra portuária estudada, o processo de concretagem foi executando utilizando formas metálicas e, a maioria das peças de concreto foram pré-moldadas, diminuindo assim a quantidade de resíduos de madeira gerada.

4.3.3 Comparativo entre a área construída e os resíduos metálicos

Ao analisar a quantidade gerada resíduos metálicos em relação aos demais resíduos gerados, percebe-se que este resíduo foi o mais gerado ao longo do empreendimento. Se comparado com os períodos de execução de obra, a maior geração de resíduos proveniente de metais ocorreu no mês de dezembro de 2018, contabilizando a geração de 41% do total dos resíduos metálicos apenas neste mês.

Em dezembro de 2018 foi iniciada a demolição das estacas pré-moldadas, a separação do concreto e do aço provenientes destas estacas demolidas e a destinação correta dos resíduos, atividade a qual tem influência significativa na quantidade de sucata metálica gerada. Observando na Figura 41 (página 104), é possível identificar que o pico de geração de resíduos metálicos também coincide com o término da execução das duas obras executadas com camisas metálicas: cais e *dolphins*.

Para calcular a média mensal de geração de resíduos metálicos, foram considerados na Tabela 11 os resíduos até o mês de fevereiro de 2019, visto que após este período os resíduos metálicos não foram contabilizados na obra. Dentre os dados apresentados, estão a média mensal de resíduos metálicos e a média de resíduos metálicos gerados por área construída.

Tabela 11 – Proporção de resíduos metálicos por área construída

Área total construída (m ²)	177364,34
Total de resíduos de metal (t)	983,91
Média mensal de área construída (m ²)	8445,92
Média mensal de resíduos de metal (t)	61,49
Média de resíduos de metal por área construída (kg/m ²)	7,52

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao contabilizar os meses de execução de obra, observa-se que foram gerados, em média, 61.494,38 kg de sucata metálica por mês e que em média são gerados 7,55 kg de resíduos metálicos por mês por área construída. O desvio padrão calculado para a produção de sucata metálica por área construída é de 13,15 kg/m² por mês. Este alto índice é decorrente da elevada geração de sucata metálica no mês de dezembro de 2018, proveniente da destinação dos resíduos das camisas metálicas.

Li *et al.* (2013), ao estimar a geração de resíduos em uma obra residencial com concreto armado, calculou a geração de 4,0 kg de resíduos de barra metálica por m² de área construída. Em seu estudo, Hu *et al.* (2021) calculou a geração de 4,36 kg de resíduos metálicos por m² de área de obra comercial construída. Já em seu estudo de obras residenciais, Wang *et al.* (2020) verificou a geração de 6,98 kg de resíduos de metal por m² de área construída.

Os autores citados estudaram obras comerciais e residenciais, com construções convencionais, ou seja, utilização de formas de madeira para concretagens ao invés de formas metálicas e peças pré-moldadas. A obra portuária estudada tem como característica a utilização de camisas metálicas para a construção de estacas, aumentando assim a quantidade de resíduos metálicos gerados. Foram utilizadas formas metálicas ao invés de formas de madeira para concreto *in loco*, com o intuito de propiciar menor tempo de concretagem e maior proteção do concreto com as camisas metálicas.

4.3.4 Comparativo entre a área construída e os resíduos orgânicos

O índice de geração de resíduos orgânicos em relação à execução da obra não segue uma tendência clara. A maior geração de resíduos orgânicos ocorreu em decorrência da limpeza realizada no canteiro de obras da obra anterior, visto que os canteiros são reaproveitados. Em novembro de 2018 também ocorreu geração elevada de resíduos orgânicos em comparação com a média mensal, provavelmente em decorrência do término das obras do cais e dos *dolphins*. Como pode ser observado na Figura 41 (página 104), a construção do cais e dos *dolphins* ocorreu até novembro de 2018.

Para calcular a média mensal de geração de resíduos orgânicos, foi elaborada a Tabela 12. Nos dados apresentados, foram contempladas a média mensal de resíduos orgânicos e a média de resíduos orgânicos gerados por área construída.

Tabela 12 – Proporção de resíduos orgânicos por área construída

Área total construída (m ²)	177364,34
Total de resíduos orgânicos (t)	171,55
Média mensal de área construída (m ²)	8445,92
Média mensal de resíduos orgânicos (t)	8,17
Média de resíduos orgânicos por área construída (kg/m ²)	0,97

Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme a Tabela 12, a média de geração de resíduos orgânicos nos meses com execução de obras foi de 8.169,24 kg por mês. É possível observar também que foram gerados, em média, $0,97 \pm 0,54$ kg de resíduos orgânicos por área construída.

Lu *et al.* (2011), ao estimar a geração de resíduos em quatro obras em andamento, calculou a geração de 1,83 kg de resíduos orgânicos por m² de área construída. Já o autor Hu *et al.* (2021) calculou o valor de geração de 5,33 kg de resíduos orgânicos por m² de área, em obras convencionais. O índice inferior calculado na obra portuária deste estudo de caso provavelmente é decorrente da compostagem de parte dos resíduos do refeitório, diminuindo significativamente a quantidade de resíduos orgânicos gerados no empreendimento.

4.3.5 Definição de indicadores de geração de resíduos por área construída

Foram realizadas análises em prelação às proporções de resíduos gerados no empreendimento, em relação às áreas construídas nas obras do cais, dos *dolphins*, da retroárea e da ligação das retroáreas. No item 4.3 foram detalhadas as proporções de gerações de resíduos versus a área de obra construída, já neste subitem será apresentado o resumo dos indicadores de geração de resíduos calculados. No Quadro 10 estão contemplados os indicadores de geração de resíduos que poderão ser utilizados como embasamento para o planejamento de obras portuárias, foram considerados os indicadores de geração mensal de resíduos contaminados, de madeira, metálicos e orgânicos por área construída.

Quadro 12 – Indicadores de geração de resíduos mensais por área construída

TIPO DE RESÍDUOS	KPI MENSAL
Resíduos contaminados	0,35 kg/m ²
Resíduos de madeira	3,51 kg/m ²
Resíduos metálicos	7,52 kg/m ²
Resíduos orgânicos	0,97 kg/m ²

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao executar uma obra semelhantes com atividades semelhantes às deste estudo de caso, de acordo com os cálculos realizados no subcapítulo 4.3.1 deste estudo, existe a probabilidade de geração de $0,35 \pm 0,21$ kg de resíduos contaminados por m² construído por mês. Dentre os resíduos contaminados gerados nesta obra portuária, estão incluídos os EPIs, as estopas e os panos contaminadas com óleo e desmoldante. Assim sendo, conhecendo a densidade aparente média dos equipamentos de plástico (em torno de 87 kg/m³) e dos trapos (aproximadamente 119 kg/m³) é possível planejar e definir as dimensões da central de contaminados de obras futuras com base nas áreas que serão construídas.

No caso das sucatas de madeira, foi calculada a densidade aparente média de 307 kg/m³ para este resíduo. Dessa forma, uma caçamba de 5 m³ acomoda aproximadamente 1.535 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 forma análoga, a densidade aparente média dos resíduos metálicos foi calculada em 696

kg/m³, ou seja, para encher uma caçamba de 5 m³, são necessários, em média, 3.480 kg de sucata metálica.

O cálculo da quantidade de resíduos orgânicos que uma caçamba de 5 m³ acomoda já foi apresentado no item 4.2.7 (página 100). De acordo com a densidade dos resíduos orgânicos (aproximadamente 132 kg/m³), uma caçamba acomoda em torno de 660 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 m² de obra construída são gerados em torno de 0,97 ± 0,54 kg de resíduos orgânicos.

Após análise das proporções de resíduos gerados no empreendimento, foi possível definir indicadores de geração de resíduos. Os indicadores poderão ser utilizados para embasar o planejamento da geração de resíduos de futuras obras, com a utilização dos mesmos procedimentos construtivos – estacas pré-moldadas e camisas metálicas. Devido ao fato de que estes métodos executivos de estaqueamento para construção portuária são os mais considerados ultimamente, o estudo dos indicadores de produção de resíduos deste estudo de caso se torna importante para obras futuras.

4.4 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DAS CAMISAS METÁLICAS

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 11.

Quadro 13 – Reaproveitamento dos resíduos das camisas metálicas

CAMISAS METÁLICAS	UNIDADE	QUANTIDADE
Total de estacas cravadas	m	13237,30
Total de estacas reutilizadas	m	1366,19
Quantidade de estacas cravadas	un	350
Quantidade de tramos reutilizados	un	258

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao analisar o Quadro 11, é possível verificar que foram executados 13.237,30 metros de estacas com camisas metálicas. Do total do comprimento executado, 1.366,19 metros são referentes às camisas metálicas reutilizadas no processo executivo, ou seja, 10% do comprimento total de estacas executadas com camisas metálicas foram concretadas com materiais reaproveitados.

É importante ressaltar também que foram cravadas 350 estacas de camisas metálicas na obra do cais. Dentre estas camisas metálicas, foram reutilizados 258 pedaços com 4,50 metros de comprimento. Pode-se dizer que foi economizada a aquisição de, aproximadamente, 114 peças de camisas metálicas.

4.5 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DE ESTACAS DE CONCRETO CENTRIFUGADAS

Seguindo a mesma análise executada para o reuso das camisas metálicas, a planilha de controle de cravação de estacas pré-moldadas de concreto foi estudada e os quantitativos de estacas de concreto centrifugadas utilizadas na execução da retroárea foram contabilizados. Com o intuito de definir a economia de matéria-prima decorrente da reutilização de resíduos de estacas pré-moldadas no processo executivo, foi montado o quadro constante no Quadro 12.

Quadro 14 – Reaproveitamento dos resíduos das estacas de concreto centrifugadas

ESTACAS DE CONCRETO CENTRIFUGADAS	UNIDADE	QUANTIDADE
Total de estacas cravadas	m	242447,28
Total de estacas reutilizadas	m	27381,00
Quantidade de estacas cravadas	un	7423
Quantidade de estacas com reaproveitamento	un	2805

Fonte: Autoria própria (2021)

Para a construção da retroárea, foram cravados 242.447,28 metros de estacas de concreto centrifugadas. Dentre a metragem total cravada, 27.381,00 metros foram executados com estacas pré-moldadas reutilizadas no processo executivo. Dessa forma, 11% do comprimento total de estacas foi executado através do 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) foi executada com algum pedaço de tramo reaproveitado, sendo que a média do comprimento dos pedaços reutilizados é de 10,64 metros. Ao contabilizar o total de comprimento reaproveitado, estima-se que foi economizada a aquisição de, aproximadamente, 2.489 estacas de concreto centrifugadas.

4.6 ANÁLISE GERAL DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO ESTUDO DE CASO

Foram instaladas várias estruturas de coleta seletiva pelo canteiro de obras, nas frentes de trabalho flutuantes, nos escritórios, nas áreas de vivência, no refeitório, nos postos de bebedouros etc. Após treinamentos e sob a fiscalização da equipe responsável pelo manejo dos resíduos, foi possível observar que para destinação final a segregação dos resíduos era feita de maneira correta.

Em relação ao acondicionamento dos resíduos, verificou-se que foi realizado seguindo a norma vigente (Lei Federal nº 12.305/2010: PNRS). Para os resíduos perigosos, foi construída uma central seguindo NBR 12235/92: Armazenamento de resíduos perigosos. Dessa forma, constata-se que resíduos sólidos contaminados são coletados e armazenados em locais apropriados.

A destinação dos RCC foi realizada também sob os moldes da PNRS. Os resíduos orgânicos foram descartados em aterro sanitário; as sucatas de metal, plástico e papel foram vendidas para empresas recicladoras; os resíduos de madeira foram doados para casas de recuperação de resíduo reciclável; os resíduos perigosos foram destinados para central de tratamento; e os RSS foram corretamente destinados para incineração.

Foi verificado neste estudo de caso que os RCC relacionados às atividades do canteiro de obras que puderam ser reaproveitados o foram, tais como: os resíduos de concreto acumulados em caminhões betoneiras foram transformados em defensas, peças de pavimentação e vasos para plantas; os resíduos de corpos de prova e de blocos de concreto foram utilizados para delimitar a horta comunitária; os resíduos orgânicos foram utilizados como compostagem da horta comunitária.

Em relação às atividades de estaqueamento, os resíduos de camisas metálicas com mais de 2 metros de comprimento e aprovados pelo controle de qualidade, foram reutilizados com a sua mesma função. Já os pedaços menores que 2 metros e que não puderam ser reaproveitados em obra, foram corretamente destinados como

sucatas metálicas. Em se tratando das estacas de concreto pré-moldado, os resíduos com mais de 2 metros de comprimento e sem avarias foram também reutilizados no próprio processo executivo. Os restos de estacas de concreto quebradas ou menores que 2 metros de comprimento foram utilizados como agregados na obra de ligação das retroáreas.

Foram verificadas as proporções mensais de geração de resíduos orgânicos, ambulatoriais, de copos plásticos e de EPIs por funcionário. Ao analisar os dados, verificou-se que cada funcionário produz, em média, $12,75 \pm 3,94$ kg de resíduo orgânico por mês. Os resíduos orgânicos gerados na obra são referentes aos restos de alimentos não destinados para compostagem e aos resíduos de materiais de higiene, assim sendo, conclui-se que quanto maior a quantidade de funcionários na obra, maior a geração de resíduos orgânicos. Em se tratando dos copos plásticos, foi possível observar que cada funcionário utiliza, aproximadamente, 3 copos plásticos por dia. Devido ao alto índice de geração, sugere-se implementar campanhas orientativas para substituir os copos plásticos por canecas metálicas ou acrílicas individuais.

Através da análise das gerações mensais dos RCC em comparação com as áreas das obras construídas (cais, dos *dolphins*, da retroárea e da ligação das retroáreas), foram criados indicadores de geração de resíduos para definir a quantidade média mensal de geração de resíduos contaminados, de madeira, metálicos e orgânicos por metro quadrado de área construída. Após a verificação efetuada, constatou-se que, em média, foram gerados 7,55 kg de sucatas metálicas por metro quadrado construído, com desvio padrão de 13,15 kg/m², ou seja, a quantidade de resíduos de metal gerados variou bastante ao longo do empreendimento. O pico de geração de resíduos metálicos ocorreu no mês de dezembro de 2018, período este em que foi iniciada a demolição das estacas pré-moldadas com a separação e destinação do aço provenientes destas estacas demolidas. Foi neste período também que ocorreu o término das atividades com camisas metálicas e a destinação dos resíduos deste material.

Ainda no período de planejamento desta obra portuária, optou-se pela reutilização de resíduos provenientes das estacas pré-moldadas e das camisas metálicas no próprio processo executivo. Para avaliar a reutilização dos resíduos, foi calculada a proporção de camisas metálicas e de estacas de concreto centrifugadas

que foram construídas com resíduos das matérias-primas no processo de cravação de estacas. Dos 13.237,30 metros de estacas executadas com camisas metálicas, 1.366,19 metros foram construídos com camisas metálicas reutilizadas, já em relação às estacas de concreto centrifugadas, dos 242.447,28 metros cravados, 27.381,00 metros foram executados com estacas pré-moldadas reutilizadas. Ou seja, ao planejar a aquisição de materiais de uma nova obra, com cravação de camisas metálicas e de estacas de concreto centrifugadas, o responsável poderá estabelecer que entre 10% e 11% do comprimento total de estacas seja executado com reaproveitamento dos resíduos gerados no próprio processo executivo.

5 CONCLUSÕES

A falta de planejamento e de gerenciamento dos RCC afetam diretamente o desempenho ambiental das obras. Em se tratando de obras portuárias, com interface marítima, terrestre e com possível poluição atmosférica, é de suma importância implementar ações sustentáveis ao longo de sua construção, que visam reduzir os impactos das obras ao meio ambiente. O objetivo geral desta pesquisa era avaliar criticamente o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção da obra portuária estudada. Para isso, foi realizada a verificação da gestão dos resíduos do estudo de caso e o levantamento dos dados de geração de resíduos sólidos.

Observa-se que a execução da obra estudada foi realizada conforme seu Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), sempre buscando práticas e informações para adotar um sistema de gestão com excelência. Pode-se afirmar que o PGRCC deste estudo de caso seguiu as diretrizes legais e normativas. Após as palestras e treinamentos, os gestores, funcionários e as empresas transportadoras se mostraram comprometidos com o gerenciamento dos RCC, buscando qualidade ambiental e minimizando os efeitos negativos da obra ao meio ambiente.

Foi realizada a avaliação do processo de triagem dos resíduos sólidos ao longo das etapas de segregação, acondicionamento, reaproveitamento e destinação dos resíduos; e a caracterização do processo de gestão dos resíduos sólidos ao longo da construção do estudo de caso. O estudo mostrou que mesmo após a realização de treinamentos, palestras e DDS sobre manejo de resíduos sólidos, a segregação dos RCC na obra portuária necessitava de fiscalização.

Em relação aos resíduos provenientes de EPIs, a empresa optou, de modo preventivo, por destinar todos os EPIs como material contaminado (perigoso) para incineração ou para descarte em aterro. Dessa forma, todos os EPIs foram misturados, independente do material de que eram confeccionados e do grau de contaminação no término de sua utilização. Identificou-se como oportunidade de melhoria do processo que os resíduos de EPIs poderiam ter sido subclassificados, sendo separados entre resíduos contaminados e resíduos não contaminados.

Foram definidas as proporções de resíduos orgânicos, ambulatórios, contaminados, de EPIs e de copos plásticos em comparação à quantidade mensal de

funcionários na obra. Dentre estes resíduos, as gerações mais significativas foram em relação aos resíduos orgânicos e aos copos plásticos.

Foram definidas também as proporções de resíduos orgânicos, contaminados, metálicos e de madeiras em comparação à estimativa de área de obra construída mensalmente. Em se tratando deste estudo comparativo, a geração mais significativa foi em relação aos resíduos metálicos. Conclui-se que os dois procedimentos executivos mais importantes da obra - camisas metálicas e demolição das estacas pré-moldadas - geram elevada quantidade de resíduos metálicos.

Outro objetivo deste estudo de caso era definir as proporções de camisas metálicas e de estacas de concreto centrifugadas que foram construídas com resíduos das matérias-primas no 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.

Os indicadores de geração de RCC estabelecidos para esta obra poderão ser utilizados para embasar o planejamento da geração de resíduos de obras futuras. Ou seja, ao realizar o planejamento de uma nova obra, com atividades análogas às deste estudo de caso, poderão ser utilizados os indicadores calculados para este estudo de caso, a fim de dar maior veracidade ao planejamento dos quantitativos de RCC que serão gerados no decorrer da obra e balizar seu PGRCC. Dessa forma, poderão ser pré-estabelecidos as áreas necessárias para o acondicionamento dos RCC, a quantidade de transporte semanal desses resíduos para sua destinação, bem como a redução de aquisição de matéria-prima para execução do estaqueamento, em decorrência do percentual de reutilização efetivo dos resíduos de camisas metálicas e de estacas pré-moldadas.

Vale ressaltar que a metodologia aplicada pode ser utilizada em outros tipos de obras e outros tipos de resíduos, para comparar e validar os indicadores obtidos. Recomenda-se que o estudo de indicadores de geração de resíduos seja feito também em relação a outros processos construtivos. Outra sugestão é separar os resíduos em subcategorias, a fim de especificar os indicadores, como exemplo: separar os resíduos de armação metálica, obtidos na central de armação, dos resíduos de camisas metálicas e das formas metálicas, resíduos os quais são provenientes de chapas de aço. É importante que sejam feitas comparações de indicadores calculados com outras obras, com métodos de medição padronizados para validar o estudo

realizado, verificando, neste caso, se os indicadores estabelecidos se aplicam em outras obras de construção pesada.

REFERÊNCIAS

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 06 mai. 2021.

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.

AECWEB (Arquitetura, Engenharia e Construção). **Estacas centrifugadas têm bom aproveitamento em ambientes agressivos**. Revista digital, c1999 – 2021. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/estacas-centrifugadas-tem-bom-aproveitamento-em-ambientes-agressivos_410_2665. Acesso em: 01 jun. 2021.

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.

AJAYI, S. O.; AKINADE, O. O.; ALAKA, H. A.; BILAL, M.; OWOLABI, H; OYEDELE, L. O. A. Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects. **Waste Management**, v. 59, p. 330-339, 2017.

ANGULO, S. C.; TEIXEIRA, C. E.; CASTRO, A. L. DE; NOGUEIRA, T. P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 299-306, 2011.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES: COMITÊ TÉCNICO 206 MEIO AMBIENTE. 2001, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: IBRACON, 2001.

ARTEN, P. L. R. **Classificação e destinação de equipamentos de proteção individual usados no setor da construção civil**. 2013. 70 f. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

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 NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.174**: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes. Rio de Janeiro, 1990.

BAKCHAN, A.; FAUST, K. M.; LEITE, F. Seven-dimensional automated construction waste quantification and management framework: Integration with project and site planning. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 146, p. 462–474, 2019.

BERTOL, A.; NAGALLI, A.; RAFFLER, A.; DOS SANTOS, J. Analysis of correlation between works characteristics and Construction waste generation. In: INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 14., 2013, Sardinia. **Anais [...]**. Sardinia: 2013.

BEZERRA, R. P. L.; SILVA, R. C. P.; ACIOLI, N. T. B.; DOS 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.

BIJU, B. P. **Utilização do Sistema de informação geográfica (SIG) na indicação de possíveis áreas aptas à disposição de resíduos de construção e de demolição**. 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

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. Acesso em: 15 mai. 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.

CAIS. In: **DICIO, Dicionário Online de Português**. Porto: 7Graus, 2021. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/cais/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

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.

COMPRAÇO (Compraço Grupo Industrial). **Camisa metálica e tubulações**. 2021. Disponível em: <https://compraco.com.br/collections/camisas-metalicas-e-tubuloes>. Acesso em: 15 jul. 2021.

DI VAIO, A., VARRIALE, L., TRUJILLO, L. Management Control Systems in port waste management: Evidence from Italy. **Utilities Policy**, v 56, 127-135, 2019.

EMBRAFE (Empresa Brasileira de Fundações Especiais). **Camisa metálica construção civil**. 2021. Disponível em: <https://www.embrafe.com.br/camisa-metalica-construcao-civil>. Acesso em: 15 jul. 2021.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Construction and Demolition Debris Management in the United States, 2015**, p. 26, mar. 2018. Disponível em: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/construct-ion-and-demolition-debris-material>. Acesso em: 08 mai. 2021.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). **Construction and Demolition Debris Management in the United States, 2015**, p. 24, mar. 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/construct-ion-and-demolition-debris-material>. Acesso em: 08 mai. 2021.

EUROPEAN COMMISSION (Comissão Europeia). **Protocolo de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição da UE**, p. 54, set. 2016. Disponível em: <https://ec.europa.eu/renditions/native>. Acesso em: 08 mai. 2021.

FEIJÃO NETO, F. G. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de Parnaíba-PI**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

FISHER, C.; WERGE, M. EU as a Recycling Society: Present recycling levels of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU. **ETP/SCP European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production**, n. 2, 2009.

FREITAS, W. C. **Análise da geração de resíduos da construção civil no município de Batatais-SP para implantação de gerenciamento integrado**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2009.

GERALDO FILHO, P. R.; NAGALLI, A. Experimental analysis of the reuse of waste from prefabricated concrete piles: case of a port work. **International Journal of Development Research**, v. 10, n. 8, 2020.

GERALDO FILHO, P. R.; NAGALLI, A. **Relatório sobre a execução do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)**. Acervo da obra. Paranaguá, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 175 p., 2002.

GOODE, W. J.; HATT, P. K. **Métodos em pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Nacional, 488 p., 1979.

GUERRA, J. S. **Gestão de resíduos da construção civil em obras de edificações**. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.

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.

HU, R.; CHEN, K.; CHEN, W.; WANG, Q.; LUO, H. Estimation of construction waste generation based on an improved on-site measurement and SVM-based prediction model: A case of commercial buildings in China. **Waste Management**, v. 126, p. 791–799, 2021.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Instrução Normativa Nº 13, de 18 de dezembro de 2012. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0013-181212.PDF>. Acesso em: 20 mai. 2021.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de Resíduos da Construção. In: SEMINÁRIO DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, 2000, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: CETESB, 2000.

JUAN, A. V.; RODRIGUEZ, D. R.; GARCIA, J. G.; GUERRA, M. I. R.; MORAN, J. M. DEL P. Mechanical and microstructural characterization of non-structural precast concrete made with recycled mixed ceramic aggregates from construction and demolition wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 482-493, 2018.

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.

LI, J.; DING, Z.; MI, X.; WANG, J. A model for estimating construction for waste generation index building project in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 74, p. 20–26, 2013.

LIMA, J. P. S.; RAMOS, A. P.; REAL, M. DE V.; RIBEIRO, B. Z. Estudo probabilístico das cargas nas estacas de *dolphins* de amarração e atracação. **Engevista**, v. 19, p. 459-481, 2017.

LIMA, R. M. S. R. **Sistema de avaliação da gestão integrada de resíduos da construção civil na esfera municipal**. 2012. 173 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil. **Série de Publicações Temáticas do CREA - PR**. Curitiba: CREA, 2009.

LU, W.; YUAN, H.; LI, J.; HAO, J. J.; MI, X.; DING, Z. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 680-687, 2011.

MAIA, M. L. A.; MORAES, E. B. A. DE; SINAY, M. C. F. DE; CUNHA, R. F. DE F. Licenciamento de polos geradores de viagens no Brasil. **Transportes**, v. 18, n. 1, p. 17-26, mar. 2010.

MARTINS, F. G. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte: estudos de caso**. 2012. 177 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MATIAS, A. N. **Resíduos de construção e demolição à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2020. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020.

MENDIS, D.; HEWAGE, K. N.; WRZESNIEWSKI, J. Reduction of construction wastes by improving construction contract management: a multinational evaluation. **Waste Management & Research**, v. 31, n. 10, p. 1062-1069, 2013.

MESQUITA, A. S. G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. **Revista Holos**, v. 2, p. 58-65, 2012.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Plano nacional de resíduos sólidos**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 15 mai. 2021.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Resolução Conama nº 348, de 16 de agosto de 2004. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>. Acesso em: 16 mai. 2021.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). Resolução Conama nº 358, de 29 de abril de 2005. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=462>. Acesso em: 15 jun. 2021.

MORAND, F. G. **Estudo das Principais Aplicações dos Resíduos de Obra como Materiais de Construção**. 2016. 91 f. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MOURÃO, R. N. B. **KPIs na Construção – estudo de âmbito e representatividade**. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.

MTb (Ministério do Trabalho). Altera Norma Regulamentadora NR 06 - Equipamentos de Proteção Individual. Portaria n. 877, de 24 de outubro de 2018. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>. Acesso em: 25 mai. 2021.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Texto, 176 p., 2014.

NAGALLI, A.; GERALDO FILHO, P. R.; BACH N. S. Densidade aparente média de resíduos sólidos coletados em uma obra portuária. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 19, p. 67-74, 2020.

NEVES, A. **O uso de Indicadores Chave de Desempenho para avaliar a eficiência dos Sistemas de Gestão**. 2012. 194 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Integrada da Qualidade, Ambiente e Segurança) - Instituto Superior de Educação e Ciências, Lisboa, Portugal, 2012.

NOVAES, M.V.; MOURÃO, C.A.M.A. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos da construção civil**. Fortaleza: COOPERCON, 2008.

OLIVEIRA, S. L. **Metodologia científica aplicada ao direito**. 1ª ed. São Paulo: Thomson Learning, 281 p., 2002.

OLIVEIRA, D. M. **Desenvolvimento de ferramenta para apoio à gestão de resíduos de construção e demolição com uso de geoprocessamento: Caso Bauru-SP**. 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

OLIVEIRA, F. M. D. R.; BUFFON, N. M.; FREITAS, S. S. The effectiveness of C&D Waste Management considering the stationary buckets contents. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 19, p. 3047-3060, 2014.

ONU (Organização das Nações Unidas). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 07 mai. 2021.

PAZ, D. H. F. DA. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à gestão integrada de resíduos da construção e demolição**. 2019. 288 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

PAZ, D. H. F. DA; SANTOS, G. K. DOS. Implementação de um plano de gerenciamento de resíduos da construção civil no canteiro de obras do IFPE – Campus Cabo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016. Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: CONGEA, 2016.

PINTO, T. DE P. Entulho de construção: Problema Urbano que pode gerar soluções. **Construção**, Ed. Pini, n. 2325, São Paulo, 1992.

PINTO, T. DE P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

POLETO, C (org). **Introdução ao gerenciamento ambiental**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 336 p., 2010.

SANTOS, A. DO N. DOS. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no Município de Petrolina (PE)**. 2008. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

SANTOS, G. O. DOS; SILVA, M. C. DA. Densidade aparente de resíduos sólidos recém coletados. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - CONNEPI, 5., 2010, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: IFAL, 2010.

SCHAMNE, A. N. **Avaliação do potencial de aplicação dos preceitos da logística reversa de resíduos sólidos ao setor da construção civil em Curitiba, Paraná**. 2016. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SHEN, L. Y.; TAM, V. W. Y.; TAM, C. M.; DREW, D. Mapping approach for examining waste management on construction sites. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 130, n. 4, p. 472-481, 2004.

SILVA, A. S.; BARBOSA, D. S.; SACRAMENTO, I. G.; JESUS, T. J. M.; FILHO, M. D. M. Gestão dos resíduos sólidos gerados pelo setor da construção civil (construtoras) em Aracaju. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas Unit**, v. 2, n. 1, p. 137-144, 2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4ª ed. Florianópolis: LED/PPGEP/UFSC, 2005.

SILVA, M. B. DE L. **Novos materiais à base de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Resíduos de Produção de Cal (RPC) para uso na Construção Civil**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SILVA, R. V.; DE 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.

SINDEPAR (Sindicato dos Despachantes do Estado do Paraná). **Mapa do estado do Paraná**. Disponível em: <http://www.sindepar.com.br/home/mapa-do-parana/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SOUZA, U. E. L. DE; PALIARI, J. C.; AGOPYAN, V.; ANDRADE, A. C. DE; Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, v. 4, p 33-46, 2004.

SUAPE (Complexo Industrial Portuário de Suape). **Glossário Portuário**. 2020. Disponível em: http://www.suape.pe.gov.br/images/glossario_portuario/suape-glossario-portuario_01_2017.pdf. Acesso em: 15 jul. 2021.

TEIXEIRA, C, C. **Gestão de resíduos de construção e demolição em obras de edificação**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2013.

TOWNSEND, T; XU, Q; Factors affecting temporal H2S emission at construction and demolition (C&D) debris landfills. **Chemosphere**. v. 96, p.105-111, 2014.

VALENÇA, M. Z. **Resíduos da construção civil: O papel das empresas de coleta e transporte de entulho de obras para uma gestão integrada e sustentável na cidade do Recife, a partir da resolução CONAMA 307/2002**. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

WANG, Q.; CHEN, L.; HU, R.; REN, Z.; HE, Y., LEI, D.; ZHOU Z. An empirical study on waste generation rates at different stages of construction projects in China. **Waste Management & Research**, v. 38, n. 4, p. 433-443, 2020.

WU, Z.; YU, A. T. W.; SHEN, L.; LIU, G. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Waste management**, v. 34, p. 1683-1692, 2014.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 212 p., 2005.

YUAN, H. Key indicators for assessing the effectiveness of waste management in construction projects. **Ecolog. Ind.**, v.24, p. 476–484, 2013.

YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste management**, v.31, p. 670–679, 2011.

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**, n. 136, p. 405-413, 2017.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.