

III-1623 - PROPOSIÇÃO DE UM PLANO DE ROTEIRIZAÇÃO DA COLETA SELETIVA PARA O MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN

Vanessa Gabriela Bezerra Lopes ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA Campus Caraúbas/RN

Luzianne Galvão Pimenta ⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Civil – UFRSA

Nayamma Almeida da Silva ⁽³⁾

Engenheira Civil – UFRSA

Renata Maria da Silva Paiva ⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Civil – UFRSA

Wellington Lorrán Gaia Ferreira ⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC), mestre em Engenharia de Transportes pela UFC e doutor em Engenharia de Transportes também pela UFC. Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFRSA) Campus Caraúbas/RN.

Endereço⁽¹⁾: Rua Clóvis Cavalcante de Lima, 656 – Santa Tereza - Parnamirim – RN – CEP: 59142-240 – Brasil – Tel: +55 (84) 99630-9196 – e-mail: vanessagabriela1@hotmail.com

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos tem ganhado cada vez mais destaque nos debates públicos, tendo em vista que dentre as consequências do mau gerenciamento destes resíduos está a proliferação de doenças e transformações climáticas/ambientais negativas. Dentro dessa perspectiva, o Brasil instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de 2010, a qual tem como um de seus instrumentos a coleta seletiva, cujo desempenho desta está, dentre outros fatores, intimamente ligada com a roteirização da coleta dos resíduos recicláveis na localidade pertinente. Dessa forma, o presente trabalho propôs a roteirização da coleta seletiva no município de Caraúbas/RN, com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas (SIG), visando proporcionar uma otimização das rotas. Para tanto realizou-se um diagnóstico do atual sistema de coleta de resíduos sólidos do município e com base em estudos da área e dados coletados, definiu-se 24 Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), assim como, dimensionou-se os respectivos coletores para tais pontos, além de propor um orçamento como base para implantação deste sistema. Posteriormente, por meio de critérios e parâmetros técnicos, baseando-se em pesquisas da área e orientações de instituições responsáveis no âmbito da gestão de resíduos, pôde-se confeccionar com o auxílio do QGIS 3.22, duas rotas para coleta seletiva no município de Caraúbas/RN a serem executadas três vezes por semana cada uma delas, sendo a Rota I para todos os 24 PEVs com distância total de 19,4 km, alcançando todos os bairros e a Rota II atendendo a 7 PEVs e percurso de 6,2 km, dando prioridade à coleta no centro comercial. As rotas confeccionadas geraram uma redução de 41,9 % (Rota I) e 81,4 % (Rota II) em relação ao distanciamento médio total das atuais rotas desenvolvidas em Caraúbas-RN.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Resíduos, Reciclagem, Sistema de Informação, Roteirização.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional no planeta tem ganhado mais evidência nas últimas décadas, onde em apenas 25 anos ocorreu um acréscimo de 2 bilhões no número de pessoas. Dessa forma, com uma maior quantidade de habitantes, acontece uma concentração nas áreas urbanas, resultando em uma ampliação na utilização dos serviços e bens de consumo abaixo [1].

Esta questão fica ainda mais evidente analisando que ao longo dos anos pôde-se verificar um aumento no consumo de bens e produtos por parte da população brasileira. De acordo com a Confederação Nacional do Comércio de Bens, Serviços e Turismo (CNC), a Intenção de Consumo das Famílias (ICF) no Brasil teve o aumento de 11,1% em um período de um ano, de abril de 2021 até abril de 2022. Este aumento é considerado significativo, sendo o maior desde maio de 2020, quando se iniciou a pandemia de COVID-19 [2].

Esse consumo desenfreado proporciona uma alta geração de resíduos, tendo em vista que muitos destes materiais adquiridos se tornam obsoletos em um curto espaço de tempo. Essa geração de resíduos, por sua vez, apresenta-se como uma grande problemática ambiental desencadeando poluição dos mares, rios, atmosfera, além de disseminar doenças perigosas à população e outros riscos [3].

Diante dessa perspectiva, a gestão de resíduos sólidos surge como fator primordial que pode ser alinhada entre as principais funções da Administração Pública no âmbito da engenharia sanitária. No entanto, em várias situações pode-se observar que este serviço não tem merecido a atenção necessária por parte do Poder Público, contando com orçamentos muito limitados. Contudo, vale ressaltar que para que haja um enfrentamento à tal situação deve-se haver um diálogo entre os administradores e população, onde se discuta objetivamente o problema, conscientes das responsabilidades de ambas as partes e tendo a compreensão de que o bom funcionamento do serviço de limpeza urbana é indispensável para atingir os objetivos propostos por qualquer programa de saneamento [4].

Dessa forma, a implantação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos municípios contribui significativamente para que aconteça um manejo adequado de tais despejos. Tal prática sustentável se torna ainda mais relevante quando se leva em consideração a Lei nº 14.026 de 2020 que determina a data 2 de agosto de 2024 como prazo final para que os municípios com população inferior a 50.000 habitantes possuam uma disposição final ambientalmente adequada [5].

Sendo assim, [6] define a coleta seletiva como um procedimento bastante eficaz para que se obtenha uma correta segregação dos resíduos sólidos. Sendo uma das suas consequências, a possibilidade de realocação de alguns materiais na indústria ou em outras esferas econômicas, por meio de iniciativas como reutilização e reciclagem. Nessa perspectiva, destaca-se os processos de coleta e transporte de resíduos como duas das etapas mais importantes de um plano de gerenciamento de RSU, de forma que a adequação e a otimização de tais fases tem papel fundamental na redução dos impactos ambientais. [6] ainda argumenta que “a coleta e o transporte dos RSU desde as residências até o aterro, por exemplo, se feita de forma a reduzir o trajeto pode não somente diminuir os custos com combustível como também minimizar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)”.

Pode-se salientar ainda outros pontos negativos de uma coleta de resíduos ineficiente, como reclamações por parte da população, prejuízos ao tratamento e a disposição final do lixo, que são ações do serviço público municipal indispensáveis ao saneamento básico, tendo em vista que dificultam o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças [7].

Estudos apresentados por [8] identificam que a coleta e o transporte de resíduos nas cidades correspondem a 50% dos recursos públicos destinados a limpeza municipal. Sendo assim, [7] explica que “tendo em vista a redução do tempo de percurso, menores gastos com combustível, funcionários, e também impactos ambientais, a roteirização do sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares é uma ferramenta que objetiva reduzir tais consequências de um mal planejamento.”

Diante de tudo que foi exposto, denota-se que a roteirização da coleta de resíduos se faz plenamente necessária para que tenha uma programação operacional, atendendo a todos os pontos e localidades geograficamente dispersos dentro de um determinado município, de forma que beneficie a população de maneira igual, e ao mesmo tempo, gastando o mínimo de recursos financeiros possível. Ressalta-se também a importância desse procedimento no fato de que os veículos de coleta de lixo têm a capacidade de alterar as condições de circulação do trânsito e, até mesmo, ocasionar conflitos no tráfego, reduzindo o nível de serviço das vias e comprometendo a segurança viária [9].

OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo a proposição do plano de roteirização da coleta seletiva do município de Caraubas-RN, com o intuito de realizar um diagnóstico da atual situação a que se encontra o roteiro de coleta dos resíduos sólidos municipal, apontando seus entraves e desconformidades, assim como, sugerir estratégias de otimização, levando em conta a realidade local e parâmetros oficiais, obtidos com embasamento literário.

METODOLOGIA

Este trabalho é fruto de um projeto de pesquisa denominado “Proposição de um Plano para Implementação da Coleta Seletiva no Município de Caraúbas/RN” desenvolvido por um grupo de docentes e discentes do curso de Engenharia Civil da UFERSA – Campus Caraúbas. Inicialmente, foi realizado um levantamento de informações sobre o município a fim de diagnosticar a atual situação do gerenciamento de resíduos sólidos por parte da gestão municipal, bem como realizar uma avaliação da infraestrutura física e pessoal necessária para implementar a coleta seletiva no município de Caraúbas/RN. Nessa primeira etapa do citado projeto, dois artigos científicos desenvolvidos por [23] e [24] foram publicados no ano de 2022 e servem como apoio para este trabalho.

Portanto, como uma continuação das atividades do projeto de pesquisa em questão, o presente estudo se deu no município de Caraúbas/RN, localizado à aproximadamente 290 km da capital do estado do Rio Grande do Norte (Natal/RN) e que, de acordo com dados de 2021 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) conta com cerca de 20 558 habitantes e uma área total estimada de 1095,8 km², mais especificamente o estudo teve como foco a zona urbana de Caraúbas/RN. De acordo com o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente – IDEMA, o município pertence à Microrregião da Chapada do Apodi. Caraúbas/RN possui como limites: ao norte, Governador Dix-Sept Rosado e Felipe Guerra; ao sul, Janduís, Patu e Olho D’água dos Borges; ao leste, Campo Grande e Upanema; e ao oeste, Apodi e Felipe Guerra. A Figura 1 ilustra a localização do município de Caraúbas/RN no estado do Rio Grande do Norte.

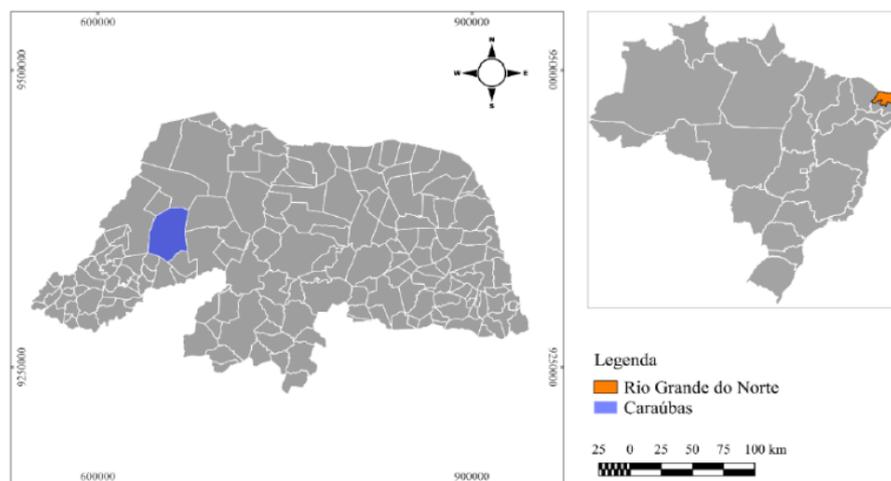


Figura 1: Localização do município de Caraúbas/RN. Fonte: [22] PAIVA (2022).

O estudo em questão possui métodos de análise baseados em pesquisas bibliográficas, documentais e de campo, a serem descritas a seguir. Dessa forma, primeiramente, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), o qual inclui investigações em artigos científicos, revistas, livros, assim como, documentos oficiais do governo, para que se obtivesse o embasamento teórico necessário para realizar a análise do atual cenário da gestão de resíduos sólidos de Caraúbas-RN.

Dando continuidade ao método, realizou-se o diagnóstico a partir da caracterização atual do manejo de resíduos sólidos do município, onde na ocasião, a ênfase foi dada para o processo de coleta e transporte dos resíduos gerados, objeto de estudo do presente trabalho. Para tanto, foi feita uma entrevista com o Coordenador de Limpeza Urbana (CLU) de Caraúbas, a fim de obter informações essenciais para atingir os objetivos do estudo, como por exemplo: o quantitativo de garis, a frota veicular, o modelo de coleta organizado pela prefeitura, considerando tanto o transporte quanto a frequência. O roteiro dos questionamentos encontra-se no Apêndice A deste documento.

Para o dimensionamento da frota veicular e o número de garis do município de Caraúbas diante da situação de implementação de uma coleta seletiva, utilizou-se como parâmetro o estudo desenvolvido por [23], o qual realizou uma análise da atual infraestrutura física e humana do município de Caraúbas/RN com o intuito de

implantar a coleta seletiva na referida localidade. A Tabela 1 apresenta as informações extraídas do estudo de [23] que serviram como base para o presente trabalho.

Tabela 1: Dados extraídos de [23]. Fonte: Adaptado de [23] SILVA et al. (2022).

Parâmetro	Quantitativo
Frota veicular (nº de veículos)	4 caminhões com 6m ³ de volume
Frota de garis (nº de garis)	6 garis
Resíduos coletados de Plástico (kg/dia)	806,5
Resíduos coletados de Papel (kg/dia)	193,5

Salienta-se que a frota veicular apresentada na Tabela 1 faz referência ao quantitativo estipulado por [23] como o ideal para a implantação do sistema de coleta seletiva em Caraúbas/RN, levando em conta as recomendações da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e a quantidade de resíduos gerados na cidade. Já a frota de garis idealizada por [23] leva em conta que a quantidade mínima do número de habitantes por gari deve ser de 4000 habitantes/gari para a implantação da coleta seletiva, tendo em vista que Caraúbas possui aproximadamente 20 558 habitantes, o número mínimo necessário de garis seria o evidenciado na Tabela 1.

Outra atividade desenvolvida foi a estimativa do percurso total das atuais rotas de coleta de resíduos da cidade. Para tanto, levou-se em consideração a frequência e a modalidade de coleta descrita pelo CLU, assim como, o trabalho desenvolvido por [22] que apresenta as extensões de todos os bairros de Caraúbas/RN.

Posteriormente, realizou-se a distribuição adequada dos PEVs na zona urbana da cidade. A distribuição dos PEVs foi realizada conforme recomendado por [21], dessa forma, buscou-se distribuí-los de maneira que a distância máxima percorrida pelos moradores para realizar a deposição dos resíduos no PEV mais próximo seja entre 300m à 500m, evitando que os moradores que estivessem nas mediações percorressem mais de 500 metros para realizar a deposição dos seus resíduos, sendo assim, estabeleceu-se uma distância confortável para que as pessoas se desloquem e participem do sistema de coleta seletiva, tendo em vista que a coleta idealizada será apenas nos PEVs, ou seja, não haverá coleta porta-a-porta.

Após tais procedimentos, confeccionou-se, com o auxílio do software QGIS 3.22, rotas otimizadas para a coleta dos resíduos, tendo em vista também a quantidade de caminhões disponíveis, os dias coletados e o número de viagens diárias que cada caminhão fará, além de outros parâmetros preponderantes abordados no referencial teórico. A roteirização também levou em conta a frequência mínima de coleta determinada no estudo de [19], a qual determina que em cidades de pequeno porte, nas áreas comerciais a frequência de coleta deve ser diária e em zonas residenciais esta frequência deve ser de no mínimo 2 vezes na semana. Outro ponto preponderante para a frequência de realização das rotas foi a escolha de realizar a coleta apenas nos PEVs.

Em seguida, dimensionou-se a capacidade volumétrica para os coletores que farão parte dos PEVs, para tal dimensionamento considerou-se, nos casos dos resíduos de papel e plástico, os dados coletados por [23], conforme já apresentado na Tabela 1. De posse do quantitativo diário dos resíduos coletados (Q) de plástico e papel, projetou-se um intervalo máximo de dias sem coleta (t) e dividiu a quantidade de resíduos gerada nesse intervalo de tempo pela quantidade de coletores estimada (n) anteriormente na etapa de distribuição dos PEVs, dessa forma, obteve-se a quantidade em quilogramas (kg) de resíduos de plástico e de papel destinada para cada coletor, como o intuito seria saber a capacidade volumétrica necessária para cada coletor, dividiu-se a quantidade em kg encontrada pela massa específica do resíduo (ρ , em kg/m³), resultando no volume necessário ($V_{Coletor}$, em m³) para cada coletor de resíduos de plástico e de papel. Esse procedimento é sintetizado pela Equação 1.

$$V_{coletor} = ((Q*t)/n)*\rho \quad \text{equação (1)}$$

Para os casos de dimensionamento dos coletores de resíduos de vidro, metal e matéria orgânica, utilizou-se como base para extração do quantitativo em kg dos referidos resíduos, o estudo realizado por [3], que realizou em sua pesquisa a composição gravimétrica de Alto Santo/CE, um município de pequeno porte que possui características populacionais e geográficas semelhantes à Caraúbas/RN. O processo de determinação da capacidade volumétrica, no entanto, foi o mesmo que o desenvolvimento para os coletores de plástico e de papel.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

DIAGNÓSTICO ATUAL DO SISTEMA DE COLETA DE RSU

Em entrevista realizada com o coordenador de limpeza urbana do município de Caraúbas, foi informado que o serviço de limpeza pública do município é terceirizado, sendo realizado pela empresa P&G Limpeza Pública, sediada em Parnamirim/RN. A frota veicular destinada à coleta de resíduos conta com cinco caminhões, sendo quatro destes do tipo caçamba basculante com 6m³ e um deles do tipo compactador com capacidade de 15m³. Cada um destes veículos faz duas viagens por dia, recolhendo os resíduos de porta-a-porta e nas lixeiras públicas espalhadas na cidade. Vale salientar que não há um roteiro de coleta previamente definido, de forma técnica, o que há é apenas uma definição de quais localidades terão seus respectivos resíduos coletados.

Em seu estudo, [23], identificou uma frota veicular mínima de quatro veículos com capacidade de 6m³ necessária para Caraúbas/RN, como mostrado na Tabela 1. Dessa forma, como, de acordo com a entrevista realizada com o CLU, o município conta com cinco veículos, sendo quatro com capacidade 6m³ e um veículo com capacidade de 15m³, a frota veicular é suficiente para a demanda.

A limpeza urbana do município conta ainda com 42 funcionários (garis), trabalhando em sistema de escala e atuando com os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados, de acordo com o que foi relatado. Segundo estudo de [23], a quantidade mínima necessária para o município caraubense implantar um sistema de coleta seletiva seria de 6 garis, tendo em vista que a situação mínima necessária é de 4000 habitantes/gari, como há 42 garis, segundo relato do CLU, isto resulta em aproximadamente 490 habitantes/gari, satisfazendo o parâmetro base estabelecido por [23]. Portanto, pode-se afirmar que o quantitativo atual de garis seria suficiente para que se implementasse a coleta seletiva no município.

Outro ponto é que, de acordo com o que foi informado na entrevista, não há um critério técnico para a distribuição destes coletores públicos, apenas alocam nos pontos de maior movimentação de pessoas ou em algumas esquinas, sem preocupação com o distanciamento adequado entre elas. Vale ressaltar ainda que estes coletores são lixeiras únicas, e não há a distinção entre o lixo seco e o úmido, como é recomendado por [19]. Os coletores são de polietileno com capacidade de, aproximadamente 280 litros.

A coleta de resíduos no município se dá duas vezes na semana em cada bairro, com exceção do centro comercial, cuja coleta é realizada diariamente de segunda-feira à sábado, conforme ilustrado na Tabela 2, segundo a Prefeitura Municipal de Caraúbas (PMC), esta frequência, para o caso da coleta urbana, se encontra adequada à situação atual, como indicado por [19].

Tabela 2: Cronograma atual de Coleta de Resíduos de Caraúbas-RN. Fonte: PMC (2022) e [22] PAIVA (2022).

Dias	Bairros	Horários	Distância percorrida (km)
Segunda-feira	Leandro Bezerra, Centro e Zona Rural (Miranda e adjacências)	7h às 11h 13h às 17h	33,6 [22]
Terça-feira	Guido Gurgel, Nestor Fernandes, Joaquim Saldanha, Centro, Sebastião Maltez, Haroldo Maia e Aeroporto	7h às 11h 13h às 17h	43,6 [22]
Quarta-feira	Alto de São Severino, Liberdade, Renascer, Boa Vista, Olho D'água do Milho, UFERSA, Nova Caraúbas e Centro	7h às 11h 13h às 17h	33 [22]
Quinta-feira	Leandro Bezerra e Centro (avenidas principais)	7h às 11h 13h às 17h	33,6 [22]
Sexta-feira	Guido Gurgel, Nestor Fernandes, Joaquim Saldanha, Centro, Sebastião Maltez, Haroldo Maia e Zona Rural (Região da Várzea)	7h às 11h 13h às 17h	35,7 [22]
Sábado	Alto de São Severino, Liberdade, Renascer, Boa Vista e Centro	7h às 11h 13h às 17h	20,6 [22]

Foi relatado pelo CLU que a coleta porta-a-porta passa em todas as ruas dos bairros, levando em conta essa informação, estimou-se a distância total percorrida em todas as rotas de segunda-feira à sábado, como mostrada na Tabela 2, segundo o estudo de [22] que por meio de um sistema de georreferenciamento caracterizou os pavimentos de Caraúbas-RN. Observa-se que a rota mais curta é a do sábado com aproximadamente 20,6 km percorridos e a mais longa é a da terça-feira com 43,6 km de percurso, em média, as atuais rotas possuem um deslocamento total de 33,4 km.

O recolhimento dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) é de responsabilidade do gerador. No entanto, no município a coleta fica por conta da prefeitura para situações em que não há uma grande quantidade de resíduos a ser coletada. Para os casos em que a demanda é além do que a prefeitura se responsabiliza, o gerador é responsável pela realização da coleta.

Já os Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS) do município, tanto do Hospital Regional como das Unidades Básicas de Saúde (UBS), são coletados por uma empresa especializada, apenas os resíduos comuns das UBS e Hospital que são de responsabilidade da prefeitura.

Foi relatado ainda que o município, como constatado, não possui um sistema público de coleta seletiva, assim como, a destinação final dos resíduos é realizada em um lixão à céu aberto, à aproximadamente 2km da cidade, de forma incorreta segundo as diretrizes da PNRS. Ressalta-se que há a perspectiva futura de encaminhar os resíduos para um aterro sanitário localizado em Pau dos Ferros/RN a 109 km de Caraúbas/RN, conforme mencionado por [20].

No Quadro 1 sintetiza-se os parâmetros analisados e julgados importantes para o trabalho em questão, objetivando a roteirização da coleta seletiva da cidade de Caraúbas/RN, na primeira coluna faz referência ao parâmetro analisado para confecção da roteirização, a segunda coluna apresenta a situação atual do município quanto ao critério analisado. Na terceira coluna identifica-se a situação ideal, tendo em vista a implementação de um sistema de coleta seletiva, por fim é feita a avaliação quanto ao atendimento ou não atendimento do determinado critério.

Quadro 1 – Síntese dos parâmetros analisados para a confecção do estudo. Fonte: Autoria própria (2022)

Parâmetro analisado	Situação atual	Situação ideal	Avaliação
Frota veicular	4 caminhões de 6m ³ e 1 compactador de 15m ³	Mínimo de 4 caminhões de 6m ³ [23]	OK!
Frota de Garis	42 garis	Mínimo de 6 garis [23]	OK!
Distribuição dos coletores	Não há critérios técnicos para distribuição	Respeitar o distanciamento máximo de 500m entre habitantes e PEVs [21]	Não OK!
Distinção entre os Coletores	Não distinção entre os coletores	Deve haver a distinção mínima entre resíduos secos e úmidos [19]	Não OK!
Método de Coleta	Porta a porta	É uma modalidade de coleta seletiva [18]	OK!
Frequência de Coleta	Tabela 2	Diariamente em zonas comerciais e, no mínimo 2 vezes por semana em áreas residenciais [19]	OK!

Observando o Quadro 1, denota-se que em alguns pontos, a cidade de Caraúbas/RN já atende aos pré-requisitos para implementação de uma coleta seletiva, no que diz respeito à roteirização da coleta, como no caso de o quantitativo veicular e de garis. Porém para outros parâmetros não há este atendimento, dessa forma, no tópico a seguir é idealizada uma situação de coleta baseada nos PEVs, havendo uma distribuição adequada destes dentro da zona urbana do município, assim como, uma distinção entre os coletores que compõem os PEVs.

DISTRIBUIÇÃO DOS PEVS E ROTEIRIZAÇÃO DA COLETA DE RESÍDUOS

Com base no critério de distanciamento mínimo entre os PEVs, já apresentado anteriormente, o qual previa a distância mínima entre 300 e 500 metros entre os PEVs e os habitantes que irão depositar os resíduos,

distribuiu-se 24 PEVs dentro da zona urbana municipal, sendo que em todos eles há lixeiras para a deposição de papel, plástico e lixo orgânico, 10 dentre os 24 PEVs terão também lixeiras para a deposição dos resíduos de vidro e metal. Dessa forma, foram elaborados 14 PEVs do tipo I (resíduos de papel, plástico e material orgânica) e 10 PEVs do tipo II (resíduos de papel, plástico, material orgânica, vidro e metal). Objetivou-se distribuir os PEVs nas proximidades dos locais em que há muita movimentação de pessoas, como supermercados e órgãos públicos, assim como centralizá-las nas demais localidades residenciais.

A distribuição, mais especificamente, dos PEVs com lixeiras para vidro e metal se deu de forma estratégica, de maneira a distribuí-las em todos os principais bairros e nas proximidades de supermercados e bares (maior concentração de resíduos de metal) e vidraçarias (maior concentração de resíduos de vidro). O fato de apenas 10 dos 24 PEVs possuírem coletores de vidro e metal, se deu pelo fato de que a geração destes resíduos é menor que a dos demais (plástico, papel e resíduos orgânicos), tomando como referência do trabalho de [3], a qual estudou a composição gravimétrica de Alto Santo/CE. A Figura 2 e a Figura 3 ilustram como ficou a distribuição das PEVs.

Após a realização da distribuição dos PEVs, foi realizada a roteirização da coleta seletiva para a cidade de Caraúbas/RN com o auxílio do software de georreferenciamento QGIS 3.22. Torna-se relevante evidenciar que a coleta será realizada apenas nos PEVs, ou seja, não haverá coleta porta-a-porta. Dessa forma, reduz-se bastante o tempo de rota, assim como, a distância total percorrida nas rotas. Por conta destes fatores, optou-se por confeccionar apenas duas rotas, que estão ilustradas nas Figura 2 e Figura 3.

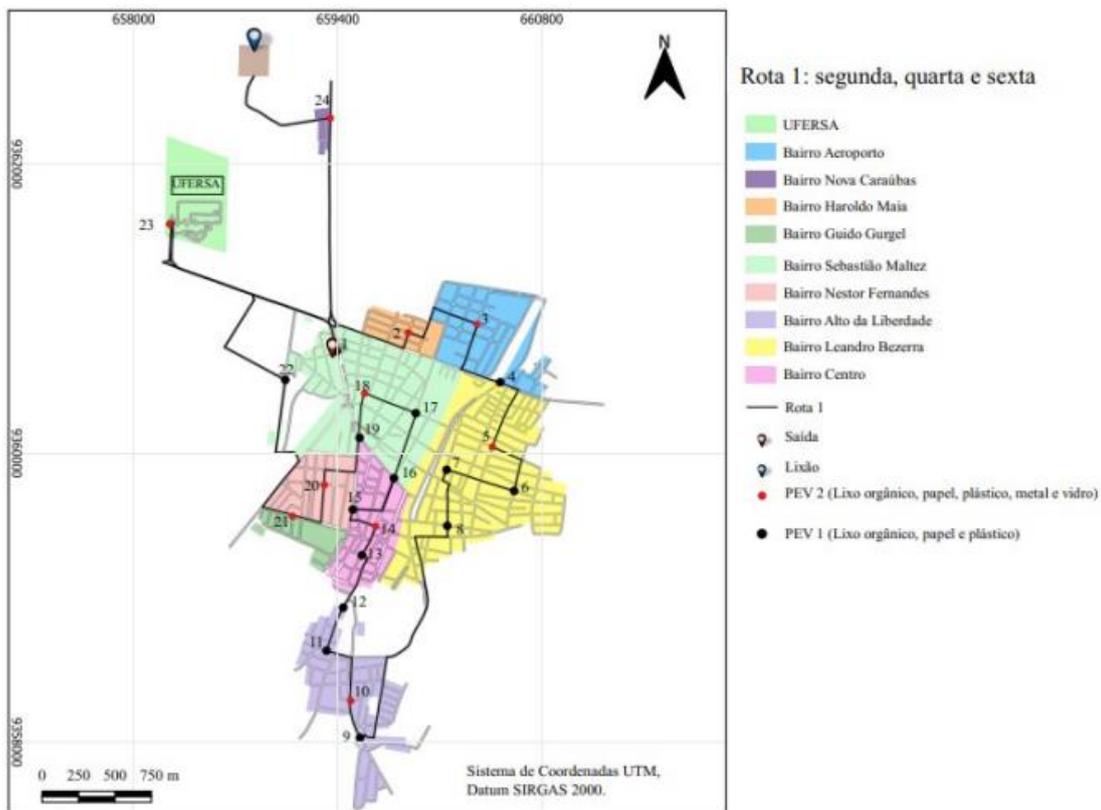


Figura 2: Rota I para coleta seletiva de Caraúbas/RN. Fonte: Autoria Própria (2022).

A primeira rota, Figura 2, demonstra o percurso do veículo coletor saindo da sede da empresa, onde fica a garagem e, conseqüentemente, o ponto de partida da rota, em seguida o percurso é feito na sequência enumerada dos PEVs (da 1 a 24). Denota-se que será realizada a coleta de todos os 24 PEVs, passando por todos os bairros até chegar no ponto final para destinação dos resíduos. A Rota I será realizada na segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira e possuirá distância total de, aproximadamente, 19,4 km.

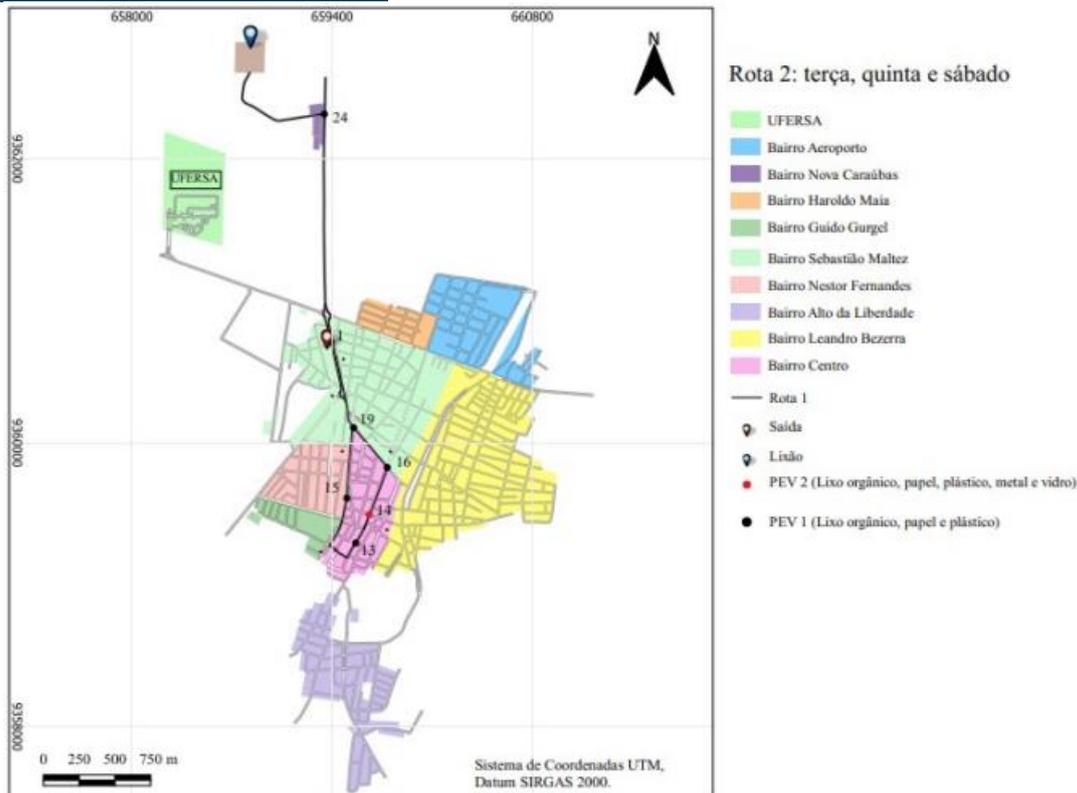


Figura 3: Rota II para coleta seletiva de Caraubas/RN. Fonte: Autoria Própria (2022).

Já, a segunda rota proposta, apresentada na Figura 3, demonstra o percurso partindo do ponto de origem (garagem) e percorrendo os PEVs 1, 19, 15, 14, 13, 16 e 24, até chegar na destinação final. Denota-se que esta rota é mais curta, tanto do ponto de vista da distância total percorrida de, aproximadamente, 6,2 km, como, conseqüentemente do tempo gasto no percurso, tendo em vista a coleta ser realizada em menos pontos, passando basicamente pelo centro comercial da cidade. Ressalta-se também que a Rota II será realizada na terça-feira, quinta-feira e sábado.

Dessa forma, ambas as rotas se repetirão três vezes na semana, obedecendo, assim, as recomendações de [19], tendo em vista que os bairros residenciais possuem coleta ao menos 3 vezes na semana, sendo o mínimo 2 vezes na semana recomendado por [19] para cidades de pequeno porte. Já o centro comercial deverá possuir uma frequência diária, sendo tal orientação também seguida.

Levando em conta que a coleta será realizada apenas nos PEVs, pode-se deduzir uma diminuição significativa nas distâncias percorridas quando em comparação às rotas de coleta atual do município (porta-a-porta e coletores), assim como, uma maior eficácia, diminuindo o tempo total de execução da rota.

Isso fica evidenciado pela comparação entre as rotas desenvolvidas no trabalho com as rotas realizadas atualmente pela PMC (ver Tabela 2). A distância média de percurso das rotas atuais é de 33,4 km, maior que ambas as rotas desenvolvidas (Rota I: 19,4 km e Rota II: 6,2 km), em termos percentuais a Rota I representa um decréscimo de 41,9% em relação ao distanciamento médio do percurso das rotas atuais e a Rota II, por sua vez, representa um decréscimo de 81,4%. Essa diminuição acarreta menos gastos com transportes, recursos estes que podem ser redirecionados para uma maior otimização da limpeza urbana municipal, como por exemplo, aquisição dos coletores dos PEVs.

DIMENSIONAMENTO DOS COLETORES DOS PEVs

O dimensionamento dos coletores para resíduos de plástico e de papel levou em consideração os dados encontrados no estudo de [23], o qual projetou para o município caraubense, a partir de informações obtidas com a Associação Caraubense de Reciclagem Serviços e Educação Ambiental (ACRESEA), uma geração diária aproximada de 1 tonelada de resíduos de plástico e papel, sendo que 80,6% deste total é de plásticos e

19,4% é de resíduos de papel. Dessa forma, adotou-se, uma geração diária de 806,5 kg de plástico por dia e 193,5 kg de papel por dia.

Projetando um intervalo máximo de dois dias sem que haja a coleta dos resíduos, os valores relatados passam a ser de 1613,0 kg de plástico (2 x 806,5 kg) e 387,0 kg de papel (2 x 193,5 kg). Para os 24 PEVs, cada ponto poderia armazenar 67,2 kg (1613,0 kg / 24) para o coletor de plástico e 16,1 kg (387,0 kg / 24) para o coletor de papel. De acordo com [3], a massa específica do plástico é de 167,0 kg/m³, enquanto que a do papel é de 338,0 kg/m³. Sendo assim, transformando a massa calculada para cada coletor em capacidade volumétrica necessária, chega-se, aproximadamente, à 0,4m³ ou 400 litros para os coletores de plástico e 0,05 m³ ou 50 litros para os coletores de papel. Dessa forma, decidiu-se adotar coletores de resíduos de plástico com capacidade volumétrica de 500 litros e coletores de resíduos de papel de 60 litros de capacidade volumétrica, pois são as medidas comerciais mais próximas dos valores dimensionados.

Para o dimensionamento dos coletores dos resíduos de vidro, metal e matéria orgânica, como não há dados disponíveis da quantidade destes materiais coletados no município de Caraúbas/RN, decidiu-se adotar a composição gravimétrica elaborada por [3] para a cidade de Alto Santo/CE, a qual determina que dentre os resíduos coletados, 9,19% é de vidros, 2,87% é de metais e 11,03% é de resíduos orgânicos. Considerando uma amostra diária de 1 tonelada, como foi para o caso dos resíduos de plástico e de papel, tem-se uma suposta geração diária de 91,9 kg de resíduos de vidro, 28,7 kg de resíduos de metal e 110,3 kg de resíduos orgânicos. Os demais passos do dimensionamento foram idênticos aos elaborados para os casos dos coletores de papel e plástico, considerando a massa específica de 50,0 kg/m³ para o vidro e 53,0 kg/m³ para o metal, segundo [3], enquanto a massa específica dos resíduos orgânicos foi de 230 kg/m³, segundo considerações de [25]. A Tabela 3 sintetiza os valores obtidos para o cálculo da capacidade volumétrica dos coletores.

Tabela 3: Dimensionamento dos coletores. Fonte: Autoria própria (2022).

Coletores	Quantidades (Unidades)	Resíduos coletados (kg/dia)	Tempo sem coleta (dia)	Volume calculado (L)
Plástico	24	806,5	2	400
Papel	24	193,5	2	50
Vidro	10	91,9	2	368
Metal	10	28,7	2	109
Matéria Orgânica	24	110,3	2	40

Os valores de volume obtidos na Tabela 3 foram posteriormente adotados nos padrões comerciais, para melhor abordagem prática como consta na Tabela 4, onde se apresenta o resumo do dimensionamento do volume dos coletores dos PEVs, assim como, a quantidade dos mesmos. Optou-se por adicionar um custo unitário e total dos coletores para se ter uma maior noção financeira dos valores necessários para implantação do sistema de PEVs nestas condições apresentadas no estudo.

Tabela 4: Quantidade, Capacidade volumétrica e Custo dos Coletores. Fonte: Autoria própria (2022) e [26].

Coletores	Quantidades (Unidades)	Volume (L)	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Plástico	24	500	1461,01	35064,24
Papel	24	60	134,81	3235,44
Vidro	10	500	1461,01	14610,10
Metal	10	120	305,81	3058,10
Matéria orgânica	24	60	134,81	3235,44

A partir da análise da Tabela 4, pode-se concluir que o preço total para aquisição dos coletores seria de 59 203,32 R\$, ao incluir o frete (R\$2 800,00) esse valor passa a ser de 62 003,32R\$. No entanto, apesar do valor gasto, deve-se pensar como um investimento para a preservação ambiental e melhoramento da saúde pública do município. Outro ponto é que a implantação desse sistema, evitará maiores custos com a coleta de resíduos porta-a-porta, como é realizada nos dias atuais. Assim como, além de estimular bons hábitos ambientais na população, incentiva-se também o trabalho das associações de catadores que realizam a reciclagem de resíduos na cidade, através do seu beneficiamento.

CONCLUSÕES

CONTRIBUIÇÕES:

- Foi possível realizar com o trabalho em questão uma avaliação do atual sistema de coleta de resíduos sólidos do município de Caraúbas/RN, analisando os principais pontos e verificando se estes estavam sendo desenvolvidos de maneira adequada de acordo com estudos realizados na temática em questão, verificando também a viabilidade de se implantar a coleta seletiva tendo em vista critérios como frota veicular e de garis;
- Foi proposto uma distribuição de PEVs para o município coerente com as observações e recomendações técnicas de instituições especializadas em limpeza urbana pública, ao passo que o sistema atual de coleta não se baseia em parâmetros técnicos, sem que haja, assim, uma padronização das rotas. Dessa forma, pôde-se proporcionar uma maior comodidade aos cidadãos a se inserirem na proposta da coleta seletiva;
- Tornou-se possível também, a partir de dados disponibilizados na literatura e de estudos semelhantes à pesquisa em questão, dimensionar e propor coletoras que farão parte dos PEVs para coleta de resíduos de plástico, papel, vidro, metal e matéria orgânica;
- Pôde-se também desenvolver no estudo, uma idealização dos valores a serem investidos com a adoção dos PEVs, de forma a se ter uma noção financeira desta operação, assim como, evidenciar o seu custo-benefício;
- O presente estudo permitiu de maneira eficiente identificar e realizar a roteirização da coleta seletiva do município de Caraúbas/RN e, durante esse processo o software utilizado (QGIS 3.22) foi suma relevância para a sua confecção. Foram geradas a Rota I e a Rota II, para que a coleta seletiva possa ser realizada em três dias da semana para cada rota e atenda a todos os bairros do município, na frequência adequada.

RECOMENDAÇÕES:

- O sucesso da coleta seletiva também está relacionado à participação da população, a qual deve ser conscientizada com frequência sobre a importância da separação dos resíduos sólidos recicláveis em seus domicílios. Sendo assim, torna-se imprescindível que o poder público promova campanhas e incentivos à adesão da sociedade a este programa;
- À medida que sejam implementadas, as rotas deverão ser analisadas, observando se estas estão possuindo a eficiência desejada e se será necessário ou não promover mudanças, como diminuição/aumento do número de PEVs ou da capacidade volumétrica dos coletores, modificações nas rotas, dentre outras medidas a serem implantadas com o intuito de otimizar o sistema de coleta seletiva;
- Vale ressaltar ainda a importância do município de Caraúbas realizar a correta destinação final dos resíduos coletados. Recomenda-se que haja por parte do poder público estadual uma celeridade no processo legal que formaliza e autoriza a construção do aterro sanitário de Pau dos Ferros/RN, o qual receberá os resíduos de Caraúbas/RN, de acordo com [20];
- É preponderante também que haja uma amistosa relação do poder público municipal com a associação de reciclagem (ACRESEA), para que se objetive a prática da coleta seletiva associada à reciclagem, gerando mais oportunidades de renda para os trabalhadores que tiram seu sustento desta prática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GODECKE, M. V.; NAIME, R.H.; FIGUEIREDO, J. A. S. **O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. REGET/UFSC, Cascavel, v. 8, n. 8, p. 1700-1712, set. 2012.
- [2] JANONE, L.; BRASIL, F. Intenção de consumo das famílias no Brasil cresce 11% em um ano, aponta CNC. CNN Brasil, 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/intencao-de-consumo-das-familias-no-brasil-cresce-11-em-um-ano-aponta-cnc/>>. Acesso em: 26 de set. de 2022.
- [3] MEDEIROS, Rafaela Lorrane Magno de. **Proposição de um plano de coleta seletiva de resíduos sólidos na zona urbana do município de Alto Santo/CE**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Caraúbas, p.79, 2022.

- [4] MANSUR, Gilson Leite et al. **Cartilha de Limpeza Urbana**. [1991]. Trabalho Realizado pelo CPU - Centro de Estudos e Pesquisas Urbanas do IBAM em convênio com a Secretaria Nacional de Saneamento - SNS - do Ministério da Ação Social - MAS. Disponível em: https://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/cartilha_limpeza_urb.pdf. Acesso em: 26 set. 2022.
- [5] BRASIL. **Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, 15 jul. 2020.
- [6] COSTA, N. R. M.; OMETTO, J. P. H. B.; NASCIMENTO, V. F. **Roteirização dos veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos utilizando SIG**. Porto Alegre: UFRGS, 2019. 35 p.
- [7] SILVA, F. C. B. et al. **Avaliação de rotas de coleta de lixo doméstico com utilização de ferramentas de rede em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas**. In: XIX EIAC. Irati, 2010. 4 p.
- [8] D'ALMEIDA, M. L. O. (coord.) **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2. ed. São Paulo. Ed. IPT, 370 p. 2000.
- [9] FRANÇA JÚNIOR, C. R.; ARANTES, D. F. **Roteirização através do SIG para coleta de lixo doméstico: um estudo de caso da cidade de Silvânia – GO**. Monografia (Graduação em Engenharia de Transportes). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia (IFGO). Goiânia, 2019. 100 p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- [11] BARBOSA, L. (2004). **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no norte de Minas Gerais**: Estudo relativo à implantação de unidades de reciclagem e compostagem a partir de 1997. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Vol.1. P 23- 63.
- [12] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portal SINIR+**: Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. Disponível em: <<https://www.sinir.gov.br/>>. Acesso em: 27 de set. 2022.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E DE RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. ABRELPE: São Paulo, 2021.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E DE RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. ABRELPE: São Paulo, 2020.
- [15] CAVALCANTE, C. F. D.; FERNANDES, A. C. A. **Estudo de concepção de melhorias, adequações e ampliação da gestão de resíduos sólidos na cidade de Caraúbas-RN**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Campus Caraúbas (UFERSA). Caraúbas, 2018. 16 p.
- [16] BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF.
- [17] MAIA, M. G. Q. et al. **Política nacional de resíduos sólidos: Desdobramentos no Rio Grande do Norte**. In: 13º CONGESP-RN. Natal, 2019. 12 p.
- [18] SILVA, A. N. **Proposição de um plano de coleta seletiva para o município de Campo Grande/RN**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Caraúbas, p. 62, 2021.
- [19] COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo, Sp. 2018. 316 p. Coordenação geral André Vilhena.
- [20] CÂMARA, M. Y. F.; OLIVEIRA, E. A.; CHIANCA, C. G. C. **Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos do município de Caraúbas – RN**. In: VII ConGeA. Campina Grande, 2016. 5 p.
- [21] PENA, R. T. R. et al. **Roteirização da coleta seletiva com o uso de Sistemas de Informações Geográficas: estudo de caso em um município de pequeno porte demográfico**. GeoAmbiente Online, Jataí, n. 42, p. 51-70, Jan-Abr/2022.
- [22] PAIVA, R. M. S. **Uso de ferramentas de georreferenciamento para caracterização de defeitos em pavimentos urbanos: estudo de caso na cidade de Caraúbas-RN**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Caraúbas, p. 57, 2022.
- [23] SILVA, N. A. et al. **Avaliação da infraestrutura física e pessoal necessária para realizar a coleta seletiva no município de Caraúbas/RN**. In: III CoBICET. Evento online, 2022. 6 p.
- [24] PIMENTA, L. G. et al. **Avaliação da situação atual dos resíduos sólidos gerados na cidade de Caraúbas/RN**. In: III CoBICET. Evento online, 2022. 5 p.
- [25] IBAM, Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro-RJ. 2001.

- [26] REIS LIXEIRAS. **Container de plástico.** 2022. Disponível em: <https://www.loja.reislixeyras.com.br/container-de-plastico>. Acesso em: 03 de nov. de 2022.
- [27] QGIS. **Sistema de Informação Geográfica:** versão: 3.22. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/index.html. Acesso em: 03 de nov. de 2022.

APÊNDICE A



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS – CMC
ALUNO (A): VANESSA GABRIELA BEZERRA LOPES

ROTEIRO DE ENTREVISTA COM REPRESENTANTE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAÚBAS -RN

Cargo do Entrevistado: Coordenador de Limpeza Urbana **Data:** 23/09/2022

1. Qual a quantidade de caminhões/viagens por dia de resíduos sólidos?
2. Como é realizada a coleta de resíduos sólidos quanto à distribuição por bairros e à frequência?
3. Quais os dias da semana são realizados as coletas?
4. A coleta é porta a porta ou tem lixeiras espalhadas na cidade e de lá os garis coletam?
5. Se for lixeiras é única ou tem uma para resíduo úmido e outra para resíduo seco em cada par de lixeira?
6. Como é a distribuição, por rua, por bairro? Quantas?
7. Qual a quantidade de pontos de coleta existentes no município?
8. Como é a coleta nas comunidades rurais?
9. Qual a quantidade de garis existente no município?
10. O que é feito com os Resíduos de Construção e Demolição (RDC)? A prefeitura quem coleta? E se for uma obra maior?
11. Como se dá o transporte dos resíduos sólidos?
12. Quantos veículos o município tem para o transporte dos resíduos sólidos? Qual o tipo de caminhão? Qual a capacidade do transporte?
13. Com relação os Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS), qual a destinação? Qual a frequência que é coletado? Qual a quantidade? Se for por bombonas, qual volume da bombona?