



## Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Manaus – AM

### **Melquizedec Arcos Rodrigues**

Doutorando em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: Rua Mendeleiev, 200, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas - SP,  
CEP: 13083-860

E-mail: m230372@dac.unicamp.br

### **Kamal Abdel Radi Ismail**

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: Rua Mendeleiev, 200, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas - SP,  
CEP: 13083-860

E-mail: kamal@fem.unicamp.br

### **Fátima Aparecida de Moraes Lino**

Pós-Doutora em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: Rua Mendeleiev, 200, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas - SP,  
CEP: 13083-860

E-mail: kamal@fem.unicamp.br

### **Inácia Oliveira de Azevedo**

Mestranda em Educação

Instituição: Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Endereço: Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, Manaus - AM, CEP: 69067-005  
E-mail: iazevedo10@hotmail.com

## **RESUMO**

Pesquisas realizadas pela Abrelpe (2022) revelam que em 2022 foram gerados no Brasil 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), o que significa que cada cidadão brasileiro gerou 381 Kg de RSU, cujo destino são os aterros e lixões. Extinguir ou pelo menos reduzir os aterros e lixões em todo o país é desejo de toda população. Diminuiria em muito problemas de saúde da população, de poluição do solo e dos rios, etc. A meta estipulada pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PLANARES, da Lei Federal nº 12.305/10 - Política Nacional dos Resíduos sólidos (PNRS, 2010) é conseguir acabar com os lixões e aterros como locais de disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) até o ano de 2030. Fatores tais como aumento progressivo da população aliado ao comportamento do consumo e desperdício, ausência de conscientização da população, baixo percentual de outros tratamentos possíveis, tais como reciclagem, compostagem, biodigestão, tem tirado a esperança de sucesso dessa meta. A cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, localizada na parte central da floresta amazônica deposita mais de um milhão de toneladas de RSU por ano, numa área de 66 hectares que possui vida útil até o final do ano de 2024. Este trabalho tem como objetivo descrever as atividades desenvolvidas para caracterização dos resíduos sólidos urbanos destinados ao aterro da cidade através da análise gravimétrica, composta por três etapas, exigidas pela NBR 10.007/2004: quarteamento, identificação e pesagem das categorias de resíduos. Também foi possível a determinação do peso específico aparente desses resíduos. Os estudos foram realizados em onze bairros, entre os meses de julho a outubro de 2022. De posse desses dados constatou-se uma grande quantidade de material com capacidade de serem reciclados ( $60\% \pm 2\%$ ), apesar das campanhas publicitárias do poder público, com peso específico aparente médio de  $74 \text{ Kg/m}^3$ . Assim, conclui-se que a coleta seletiva



e a triagem são de suma importância, como alternativas para a diminuição dos resíduos destinados ao aterro da cidade, possibilitando a vida útil desse e o reaproveitamento dos materiais recicláveis, trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais à cidade e seus habitantes.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos, Gravimetria, Destinação adequada, Manaus - AM., Reciclagem.

## 1 INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dava o prazo de 10 anos para que os problemas decorrentes dos RSU fossem extintos. Esgotado o prazo, aproximadamente 60% das cidades do país ainda não tinham alcançado essa meta. Os lixões e aterros controlados ocupam, atualmente, grandes áreas nos grandes centros urbanos, contaminando os solos e lençóis freáticos, atraindo animais e insetos, aumentando os riscos à saúde da população e elevando a emissão de gases de efeito estufa. Uma considerável parcela desse RSU vai parar nos leitos de rios e igarapés, obstruem sistemas de águas pluviais e causam alagações.

Entre os anos de 2012 e 2022, a geração de RSU no Brasil aumentou 11% passando de 62,7 milhões de toneladas para 81,8 milhões de toneladas. Por sua vez, a geração per capita aumentou de 348 kg/ano para 380 Kg ao ano, em média, o que equivale a 1,04 quilos de resíduos urbanos por dia por cada habitante (ABRELPE/IBGE, 2022).

Na cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, maior estado do Brasil, com suas riquezas ecológicas e ambientais, são aterrados aproximadamente 1.000.000 (um milhão) de toneladas de RSU todos os anos, numa área de 660.000 m<sup>2</sup> cuja capacidade se completa no ano de 2024. Ademais o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) classificou Manaus como sendo a quarta pior cidade do Brasil com acúmulo de lixo nos logradouros. Aproximadamente 6,2 % do entorno dos domicílios há a presença de lixo acumulado. Apenas próximo aos igarapés são 108.000 moradores afetados com odor desagradável, doenças e muita sujeira. Um total de 345.000 famílias são afetadas pelas sujeiras nos igarapés de Manaus (IBGE, 2020).

A área de estudo desse trabalho se concentra na área urbana da cidade, nas 06 (seis) regiões administrativas que a prefeitura da Manaus divide a cidade e no aterro de resíduos sólidos urbanos de Manaus, localizado no Km 19 da Rodovia AM-010 – estrada Manaus - Itacoatiara. Para atingir os objetivos propostos foram realizadas coletas seletivas de RSU nas seis regiões administrativas da cidade, a saber: Norte, Sul, Leste, Oeste, Centro-Sul e Centro-Oeste. Aproximadamente 3200 litros de RSU foram coletados nos bairros que fazem parte dessas regiões, num total de 11 (onze) bairros, utilizando-se de mão de obra de catadores experientes e um veículo com carroceria. Para cada local de coleta foram realizados ensaios de



gravimetria: quarteamento, identificação, medição de volume e de massa e cálculo dos percentuais, bem como do cálculo do peso específico aparente.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

A rápida urbanização e a ausência de sistemas efetivos de gestão de resíduos transformaram os lixões em um dos maiores problemas do mundo. Cerca de 40% dos resíduos sólidos do planeta vão para essas áreas, prejudicando a vida de cerca de 4 bilhões de pessoas. Uma das soluções é a criação de aterros sanitários, estratégia tomada pelo governo brasileiro desde 2010 para desativar os lixões e promover uma melhor gestão daquilo que é descartado (MMA, 2019).

Um estudo realizado pelo Fundo Mundial para a Natureza (WWF) mostra que o Brasil é o quarto país no mundo que mais produz lixo. São mais de 11 milhões de toneladas por ano. Nosso país está atrás apenas de Estados Unidos (1º lugar), da China (2º) e da Índia (3º). Já o estudo da Abrelpe (2019) mostra que o impacto dos lixões aqui no Brasil acarreta um custo de mais de R\$ 3 bilhões por ano para o sistema de saúde (MMA, 2019).

A América Latina e região do Caribe detém uma das maiores taxas de urbanização no mundo, estimando-se que 500 milhões de pessoas vivem em cidades, o que se traduz em cerca de 80% da população. Dentre os diversos problemas causados, destacam-se aqueles que se referem à mobilidade, segurança, saúde, bem-estar, saneamento e gestão adequada dos RSU. São produzidas cerca de 354.000 toneladas diárias, por meio de habitantes com os mais diversos hábitos de consumo, características culturais e poder de compra. Desta fração, estima-se que 50% (ou mais) dos RSU gerados são de resíduos alimentares e materiais de origem orgânica. Apesar deste grande potencial de recuperação por meio de diferentes opções tecnológicas hoje existentes, a parcela de resíduos orgânicos dos RSU é descartada e depositada em aterros ou lixões, trazendo severos impactos ao meio ambiente, com a geração de Gases de Efeito Estufa (GEE) em face da emissão do gás metano (CH<sub>4</sub>), que é 25 vezes mais nocivo do que o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), e responde hoje por 3% das emissões totais de GEE na atmosfera (ABREN, 2019).

Além disso há o risco de contaminação dos recursos hídricos pelo chorume ou lixiviado, ou seja, redução da água potável disponível no planeta. Em razão do seu enorme volume (aproximadamente metade dos RSU em países em desenvolvimento), os resíduos orgânicos municipais merecem uma gestão adequada e especializada. Além de ser possível minimizar os custos e severos impactos ambientais, é possível produzir importantes subprodutos como energia (elétrica e térmica), fertilizantes e combustíveis (ABREN, 2019).



## 2.2 SAÚDE PÚBLICA

Os lixões são uma emergência global para a saúde e o meio ambiente. Os lixões recebem cerca de 40% dos resíduos do mundo e atendem de 3 a 4 bilhões de pessoas. Os 50 maiores lixões afetam a vida diária de 64 milhões de pessoas, uma população do tamanho da França. À medida que a urbanização e o crescimento populacional continuam, várias centenas de milhões de pessoas serão servidas por lixões, principalmente em países de baixa renda. Se a situação seguir o cenário usual, os lixões irão gerar de 8 a 10% dos gases de efeito estufa produzidos pelo homem até 2025 (ISWA, 2019).

Mais de 750 pessoas morreram devido à má gestão de resíduos em lixões apenas no primeiro semestre de 2016 (ISWA, 2019). Abrelpe (2020) relata que os lixões custam um bilhão de dólares por ano para os sistemas de saúde. Mesmo em tempos de pandemia, os lixões continuam em operação no Brasil e afetam a saúde de mais de 77 milhões de pessoas.

Além de serem fonte de doenças como dengue, febre amarela, zika e chikungunya, parasitoses e tantas outras, aliadas à estrutura deficitária e escassez de recursos do Sistema Único de Saúde (SUS), somam-se os elevados custos sociais e econômicos nos gastos públicos do município, Estado e União. Ademais, as zoonoses – doenças infecciosas capazes de ser naturalmente transmitidas entre animais e seres humanos – representam 60% de todas as doenças infecciosas em humanos e estão em ascensão devido à destruição dos habitats selvagens decorrente das mais diversas atividades econômicas. Essas doenças certamente afetam o tripé da sustentabilidade – a economia, a sociedade e o meio ambiente, além dos impactos negativos na vida em comunidade (SANEAMENTO BÁSICO, 2020).

Portal saneamento básico (2020) sugere que as propostas para a destinação e tratamento ambientalmente corretos ao lixo, em todas as suas classificações, passem primeiramente por investimentos massivos, de forma planejada e responsável, em alternativas sustentáveis e com ganhos substanciais para a saúde, a economia e o meio ambiente com todas as complexidades que lhe são afetadas. Cita o que os governos fizeram no período da pandemia da Covid-19, preocupados em proteger as populações, com investimentos até mesmo emergenciais e de reserva, em dois anos seguidos até o momento.

O lixo que o ser humano produz e joga no planeta todos os dias é um risco muito sério à saúde de todos os seres vivos e do planeta em si. Veja alguns dos problemas que o lixo pode causar:

**Doenças:** O lixo que vai para lixões a céu aberto ou terrenos baldios produz bactérias e fungos. Também atrai baratas, ratos, moscas, mosquitos etc. Esses animais podem transmitir doenças sérias, como dengue, febre tifóide, cólera, disenteria, peste bubônica e leishmaniose (RETEC, 2015).

**Acidentes aéreos:** lixo acumulado perto de aeroportos causam acidente, porque o avião se choca com um urubu ou outra ave grande, por exemplo. Pode causar morte de pessoas, além, claro, da morte do pássaro, que poderia ter sido evitada (RETEC, 2015).



Poluição do ar: o lixo – queimado ou não, produz gases que fazem mal à saúde dos seres vivos e do planeta, como o gás metano e o gás sulfídrico. Esses gases poluem o ar e podem causar doenças respiratórias. O lixo queimado produz gás carbônico, um gás que é tóxico se estiver em grandes quantidades. E se for lembrar que o ar do planeta já está cheio de gás carbônico por causa dos carros e das fábricas (RETEC, 2015).

Inundações: garrafas de PET, sacos plásticos e outros lixos são levados pelas águas numa chuva forte. Eles acabam entupindo bueiros e até impedindo os rios de correrem por seus leitos. Isso causa inundações terríveis. A água suja das inundações estraga as casas das pessoas, mata animais domésticos e causa mais doenças na população (RETEC, 2015).

O problema da disposição dos RSU é grande e afeta todo o país, mas pode ser diminuído se cada um dos envolvidos fizer sua parte, os governos, as instituições, as empresas e cada habitante da nação. Um exemplo foi estudado por Ferreira (2018) em Brasília – DF. Devido ao tipo e a quantidade de resíduos que eram recebidos no aterro controlado do Jóquei, na década de 1990, quando se mudaram para região aproximadamente 100 catadores de resíduos. Quando o aterro foi desativado, estimava-se que existiam cerca de 2 a 3 mil pessoas residindo e tirando o seu sustento da região. Trabalhando e vivendo naquele local, sob duríssimas condições O aterro não possuía as condições mínimas para sobrevivência, como falta de água potável, iluminação, violência, condições sub-humanas de trabalho, riscos à saúde, trabalho infantil e proliferação de doenças, expostos à poluição extrema, com possibilidade de sofrerem ataques de aves silvestres e roedores (FERREIRA, 2018).

A falta de estrutura e as condições inadequadas de trabalho dos catadores de materiais recicláveis resultaram em acidentes diversos. Segundo dados da pesquisa, de 2009 a 2017, foram registrados pelo menos 47 acidentes. Na lista estão desde queimadura e queda, até casos mais graves, como os que envolvem tombamento de carreta e perda da ponta dos dedos, braço decepado, atropelamento e morte (FERREIRA, 2018).

### 2.3 TRIAGEM E RECICLAGEM

O processo de triagem é a separação dos materiais que serão encaminhados para a reciclagem, de acordo com suas características físicas e químicas. Trata-se de uma etapa essencial no processo de reciclagem, sendo considerado o passo inicial para a produção de novos produtos. Ademais, o Ministério das Cidades define galpão de triagem, ou unidade de triagem, de resíduos secos recicláveis, como sendo o conjunto das edificações e instalações destinadas ao manejo dos materiais provenientes da coleta seletiva de resíduos secos provenientes de resíduos domiciliares ou a eles assemelhados (papéis, plásticos, metais, entre outros), por parte de trabalhadores com materiais recicláveis, formalmente vinculados a organizações desta categoria, conforme a logística de implantação e funcionamento (MINISTÉRIO DAS CIDADES,



2010). Em Manaus não são realizadas essas atividades. Os RSU coletados pelos caminhões transportadores descarregam os resíduos e são logo espalhados e aterrados no aterro da cidade.

Numa usina de triagem o material da coleta mista e coleta seletiva é recebido e logo separado em materiais de características iguais, no mínimo em 03 (três) frações: recicláveis, orgânicos e rejeitos. Dependendo da população, que gera muito resíduos, precisaria de um grande local e de muitas pessoas para se fazer a separação de todo RSU que chega todos os dias. A PNRS (2010) exige que material orgânico seja destinado para biodigestores ou compostagem. Pirólise e incineração perdem na viabilidade econômica. Compostagem é mais bem aplicada quando se tem resíduos com muitos vegetais e restos de árvores (PRS, 2021).

Os materiais recicláveis representam cerca de 45 % de todos os resíduos. Uma instalação de reciclagem é necessária para qualquer material (plástico, papel, vidro, eletrônicos, gesso, etc.). O processo de separação de materiais é um serviço muito simples e a legislação brasileira exige que o pessoal da coleta seletiva e pessoas de baixa renda sejam classificados nesse processo. Qualquer pessoa que receba de 15 a 30 minutos de treinamento pode entrar na equipe. O material separado deve ir para a indústria para ser reaproveitado na linha de produção. Surge o mercado de materiais recicláveis, que busca o comprador certo para o material a ser avaliado, embala e entrega para a indústria (PRS, 2021).

A triagem pode ser feita de maneira manual, automática ou semiautomática. O primeiro tipo envolve a separação do lixo doméstico e a atividade de catadores de lixo. Este é um tipo de triagem que demanda pouco investimento, mas apresenta baixa capacidade de produção e, por isso, é pouco eficiente (FRAGMAQ, 2015).

A triagem automática, por sua vez, tem a capacidade de receber um volume muito maior de lixo, executando o processo de triagem com agilidade e sem interrupção para descanso. Além disso, a separação do lixo é feita com mais qualidade e de maneira mais confiável. Por outro lado, a triagem automática de lixo demanda alto investimento em equipamentos e locação de espaço. É um método mais indicado para grandes cidades. Existem, ainda, a triagem semiautomática, que alia o trabalho de catadores de lixo à instalação de maquinário moderno (PRS, 2021).

## 2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RSU

A caracterização dos RSU é importante para obtenção de dados sobre o seu comportamento em determinadas condições, permitindo, ainda, estudar formas de controle ou minimização de seus impactos no ambiente. A partir desses dados, qualitativos e quantitativos, e com a aplicação de métodos estatísticos e pela análise, pode-se propor ações de coleta seletiva e reciclagem, verificar se os materiais recicláveis possuem valor de comercialização e se a matéria orgânica é apropriada para compostagem ou biodigestão, ou, estabelecer o tratamento ou destinação adequada, determinar as adaptações necessárias para o



desenvolvimento de soluções para diminuição, ou até mesmo eliminação, dos RSU daquela comunidade. Para que seja realizada uma caracterização de resíduos confiável é necessário se fazer uma amostragem confiável, de acordo com a NBR 10007 – Amostragem de resíduo sólido (ABNT, 2004).

#### **2.4.1 Preparação para amostragem**

Esta subseção estabelece as linhas básicas que devem ser observadas, antes de se retirar qualquer amostra, com o objetivo de definir o plano de amostragem (objetivo da amostragem, número e tipo de amostras, amostradores, local de amostragem, frascos e preservação da amostra).

#### **2.4.2 Objetivo da amostragem**

O objetivo da amostragem é a coleta de uma quantidade representativa de resíduo, visando determinar suas características quanto à classificação, métodos de tratamento etc.

#### **2.4.3 Pré-caracterização de um resíduo**

A pré-caracterização de um resíduo é feita através de levantamento dos processos que lhe deram origem. As informações assim obtidas (volume aproximado, estado físico, constituintes principais, temperatura, etc.) permitem a definição do tipo de amostrador mais adequado, dos parâmetros que serão estudados ou analisados, do número de amostras e do seu volume, do tipo de frasco de coleta e do(s) método(s) de preservação que deve(m) ser utilizado(s).

#### **2.4.4 Plano de amostragem**

O plano de amostragem deve ser estabelecido antes de se coletar qualquer amostra, ser consistente com o objetivo da amostragem e com a pré-caracterização do resíduo, e deve incluir: avaliação do local, forma de armazenamento, pontos de amostragem, tipos de amostradores, número de amostras a serem coletadas, seus volumes, seus tipos (simples ou compostos), número e tipo dos frascos de coleta, métodos de preservação e tempo de armazenagem, assim como os tipos de equipamentos de proteção a serem utilizados durante a coleta. Este plano deve também estabelecer a data e a hora de chegada das amostras ao laboratório. Na NBR 10007 (2004) existem tabelas que apresentam os métodos de preservação e armazenagem das amostras sólidas e líquidas.

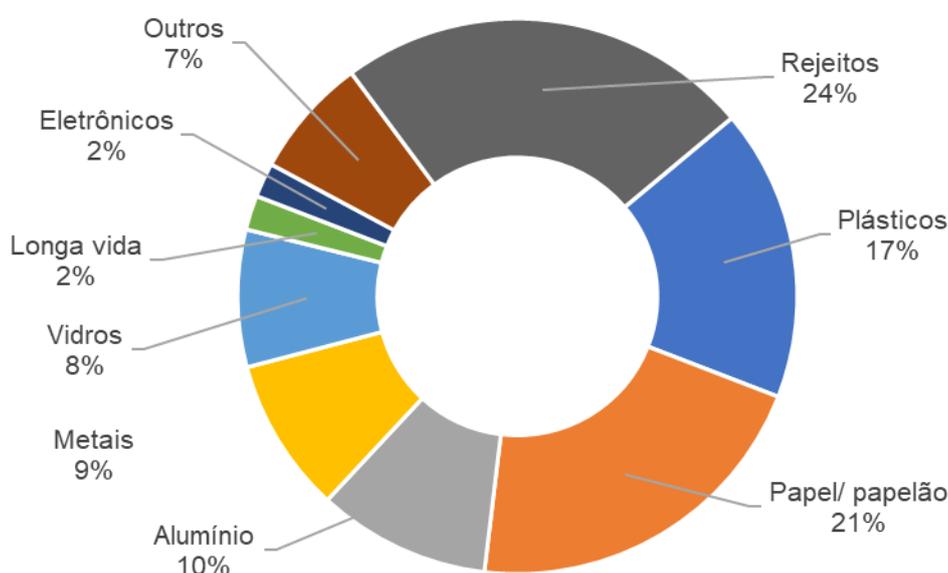
#### **2.4.5 Características Físicas**

##### **2.4.5.1 Gravimetria**

Composição gravimétrica dos RSU é o levantamento percentual dos materiais que formam os RSU depositados em determinado local. Isso é realizado medindo-se a massa de cada material e calculando o

percentual dessa massa. Por exemplo, a composição gravimétrica dos RSU no Brasil está representada na Figura 1. Resíduos que são compostos de lixo residencial, restos de feiras, embalagens diversas (longa vida, latas de alumínio, vidros) equivale a metade. Há uma grande quantidade de matéria orgânica que são jogadas nas lixeiras misturados aos demais tipos de resíduos. A exemplo de outros estudos, aparas de papel/papelão continuam sendo os tipos de materiais mais coletados (em peso), seguidos de plásticos em geral. A porcentagem de rejeitos ainda é elevada (cerca de 24%), demonstrando a necessidade de investimentos em conscientização da população para que realize a separação correta dos resíduos (CEMPRE, 2019).

Figura 1. Composição percentual dos resíduos. Fonte: CEMPRE, 2019.



Estima-se que nos anos de 2020 e 2021 a situação tende a piorar em decorrência da pandemia. Segundo a Abrelpe (2020), a geração de resíduos sólidos aumentou durante a pandemia aproximadamente 25%. Devido às medidas protetivas de quarentena, com o trabalho home office e as crianças em casa houve um aumento de consumo, de pedidos de delivery e de maior número de refeições em casa, e como consequência um crescimento na geração de RSU.

#### 2.4.5.2 Peso específico aparente

É o peso do resíduo solto pelo volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, dado em  $\text{kg/m}^3$ . A determinação do peso específico aparente é de extrema importância para o dimensionamento de equipamentos e instalações. Na insuficiência de dados mais precisos, podem-se utilizar os seguintes valores:  $231 \text{ kg/m}^3$  para o peso específico do lixo domiciliar (média);  $280 \text{ kg/m}^3$  para o peso específico dos resíduos de serviços de saúde;  $1.300 \text{ kg/m}^3$  para o peso específico de entulho de obras. Alguns outros exemplos:



1213 Kg/m<sup>3</sup> para a matéria orgânica; 338 kg/m<sup>3</sup> para papel/papelão; 240 kg/m<sup>3</sup> para outros (areia, entulhos, entre outros); 224 kg/m<sup>3</sup> para plástico filme; 135 kg/m<sup>3</sup> para plástico rígido; 119 kg/m<sup>3</sup> para trapos; 73 kg/m<sup>3</sup> para a borracha; 60 kg/m<sup>3</sup> para treta pak; 53 kg/m<sup>3</sup> para metal; 50 kg/m<sup>3</sup> para o vidro; 41 kg/m<sup>3</sup> para a madeira (DIAS, 2016).

### 3 INFORMAÇÕES SOBRE A CIDADE DE MANAUS- AM

Manaus, capital do estado do Amazonas, está em sétimo lugar no ranking das capitais com uma população de 2.116.254 pessoas, sendo a maior cidade e a mais populosa do estado Amazonas, situada bem no centro da floresta amazônica, como indica a Figura 2. Em extensão territorial é a segunda maior do país com uma área de 11.401,092 Km<sup>2</sup> (a maior é Porto Velho – RO, com 34.090,952 m<sup>2</sup>), tão extensa que se somar todas as dezesseis capitais das regiões sul, sudeste e nordeste (9.023 Km<sup>2</sup>) Manaus sozinha ainda ultrapassa todas em área.

Em área urbana a cidade de Manaus possui a quarta maior do país com 427 quilômetros quadrados, segundo dados do IBGE (2020). [https://pt.wikipedia.org/wiki/Região\\_Metropolitana\\_de\\_Manaus](https://pt.wikipedia.org/wiki/Região_Metropolitana_de_Manaus) Já a área da Região Metropolitana de Manaus, possui área de 127.287,789 quilômetros quadrados. É a maior área metropolitana brasileira, superior à área de alguns estados brasileiros como Pernambuco, Santa Catarina e Rio de Janeiro (sendo mais do que duas vezes superior a este) e tem aproximadamente as mesmas dimensões de algumas nações como, Islândia (103.000 km<sup>2</sup>) e Coreia do Sul (99.538 km<sup>2</sup>), e superiores à de países como Hungria (93.032 km<sup>2</sup>) e Portugal (92.391 km<sup>2</sup>) (IBGE, 2020).

#### 3.1 BAIRROS DA CIDADE DE MANAUS

A prefeitura da cidade de Manaus reconhece, desde 2010, 63 bairros oficiais (IBGE, 2010). Os bairros que não são reconhecidos pelo órgão administrativo são considerados como integrantes de outros bairros. A zona rural não é dividida em bairros e, portanto, não está representada na lista. Entre todas as regiões administrativas da cidade, a zona Sul é a maior em número de bairros, com um total de 18 bairros, sendo também a mais densamente povoada. No entanto, os bairros mais populosos são encontrados nas zonas Norte e Leste, como a Cidade Nova e o Jorge Teixeira, que possuem, cada um, mais de 100 000 habitantes. A última divisão territorial ocorrida no município deu-se em 14 de janeiro de 2010, através da Lei Municipal n° 1.401/10.1 Por essa medida, foram homologados os bairros de Cidade de Deus Distrito Industrial II, Gilberto Mestrinho, Lago Azul, Nova Cidade, Novo Aleixo e Tarumã-Açu.

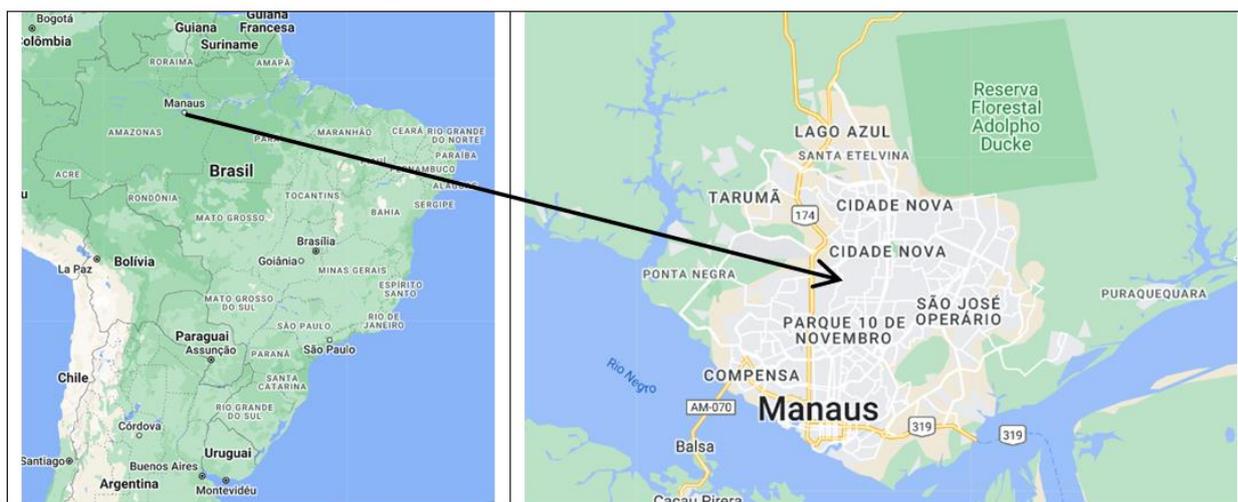
De acordo com o IBGE (2020), o bairro manauara com melhor qualidade de vida e Índice de Desenvolvimento Humano é o Nossa Senhora das Graças, que possui um IDH de 0,943, qualidade de vida semelhante ao da Noruega, por exemplo. Entretanto, também se encontram em Manaus locais com índices de pobreza semelhante aos de países pobres, como a comunidade de Grande Vitória, que possui um IDH de

0,658, semelhante ao da Bolívia, ou a comunidade de Parque São Pedro, detentor de um IDH de 0,688, que o permite ser comparado ao Vietnã. No total, treze comunidades e bairros em Manaus foram classificados como em estado de "pobreza" e outros dois como em "extrema pobreza". A região da cidade tida como de melhor qualidade de vida é a Centro-Sul, além de outras localidades como Ponta Negra e algumas partes do bairro Cidade Nova. A região de maior incidência de pobreza é encontrada nas comunidades de Nova Vitória, Grande Vitória e nos bairros Cidade de Deus e partes do Jorge Teixeira e Tarumã. A Tabela 1 resume a população das áreas administrativas da cidade.

Tabela 1. População das zonas administrativas da cidade de Manaus-AM.

Zona Administ	População	Área (m <sup>2</sup> )
NORTE	592.325	9.876,84
LESTE	529.543	15.568,39
SUL	338.674	4.707,97
OESTE	299.782	12.829,44
CENTRO-SUL	180.577	3.556,97
CENTRO-OESTE	175.353	1.799,31
Total	2.116.254	48.338,92

Figura 2. Localização da cidade de Manaus- AM.



## 4 METODOLOGIA

### 4.1 GRAVIMETRIA

Uma equipe formada por motorista, três catadores e quatro ajudantes devidamente equipados de seus EPI se deslocavam até os bairros da cidade de Manaus, estado do Amazonas, e realizaram coletas de aproximadamente 3200 litros de RSU de cada um dos bairros, em um automóvel com carroceria, como ilustrado na Figura 3. Essa quantidade era levada até um galpão coberto onde outra equipe de recicladores e ajudantes realizaram a descarga dos RSU que foram retirados dos sacos plásticos, desagregados e homogeneizados sobre lonas plásticas que cobriam o piso do galpão, até formar um monte único. Logo em seguida um quarteamento foi efetuado e duas das partes diametralmente oposta eram descartadas e as outras

duas serviam para encher recipientes do tipo baldes plásticos de 100 litros de capacidade cada um até ser obtido um volume de 1.000 litros de resíduos. Cada um dos recipientes contendo resíduos foi devidamente colocado em uma balança marca Filizola, tipo 34, capacidade de 150 Kg, e tendo sua massa medida e anotada, mostrados na Figura 4. Após a pesagem do total da amostra, foi realizada a triagem dos resíduos sobre a lona plástica da seguinte maneira: Papel/papelão, madeira, metais, vidros, plástico duro (PEAD), plástico mole (PEBD), plástico tipo PET, plástico tipo PP, isopor, rejeitos e material orgânico. Novamente cada recipiente com cada tipo de material foi devidamente pesado, separadamente, para obter-se a representatividade em peso de cada tipo de material. De posse desses dados foram determinados os percentuais de cada tipo de material existente naquela amostra de 1000 litros, conforme a Equação 1, através da divisão percentual da massa de cada material pela massa total da amostra, bem como o cálculo do peso específico dos RSU, através da divisão direta da massa total da amostra pelo volume total.

Equação 1. Percentual de cada tipo de material após a triagem.

$$\text{Percentual de cada categoria (\%)} = 100 * \frac{\text{peso de cada fração (kg)}}{(\text{peso total da amostra (Kg)})}$$

Onde:

Percentual de cada categoria = percentual de cada classe/tipo de resíduo presente na amostra;

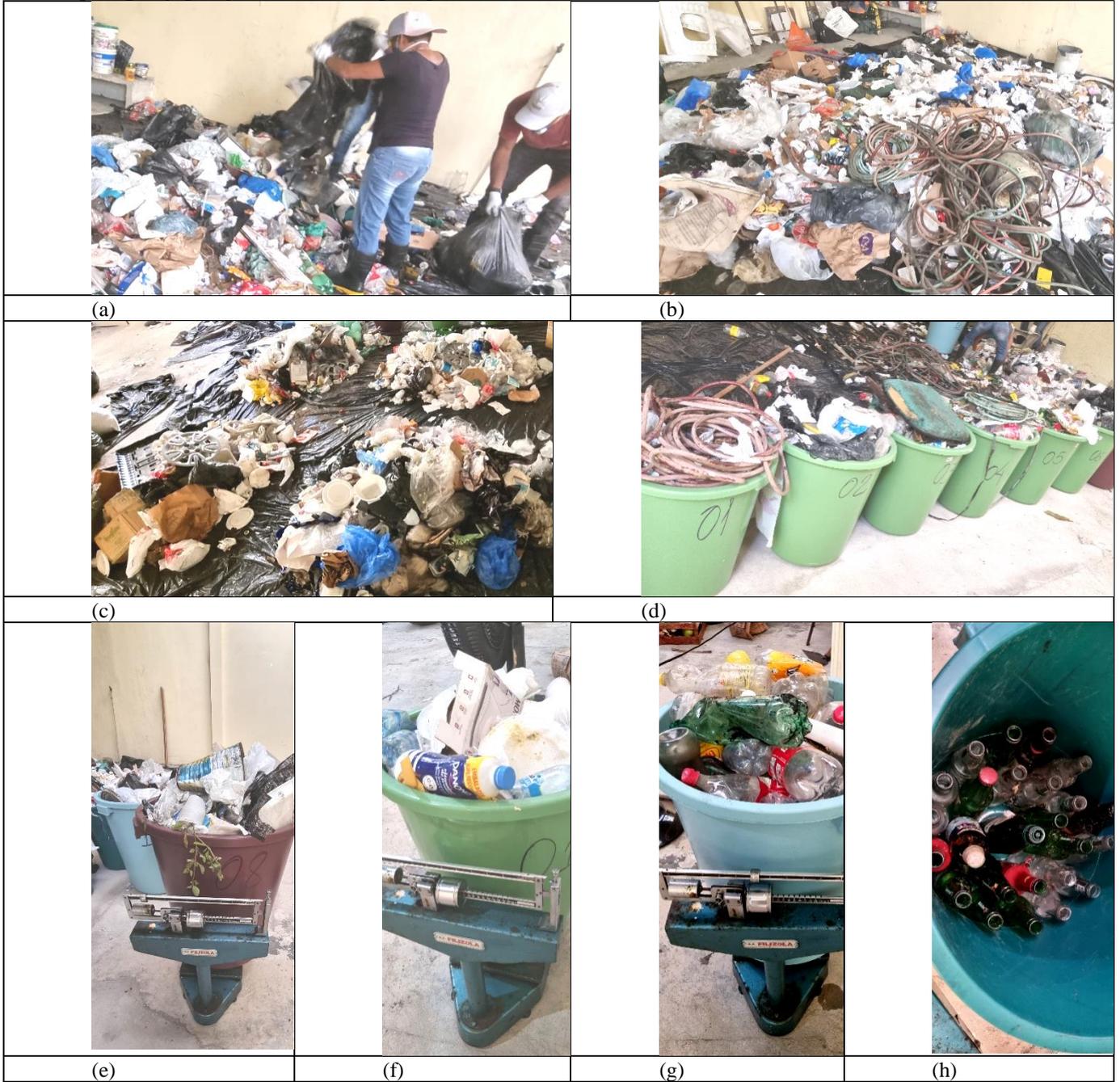
Peso de cada fração = peso de cada classe/tipo de resíduo após a triagem.

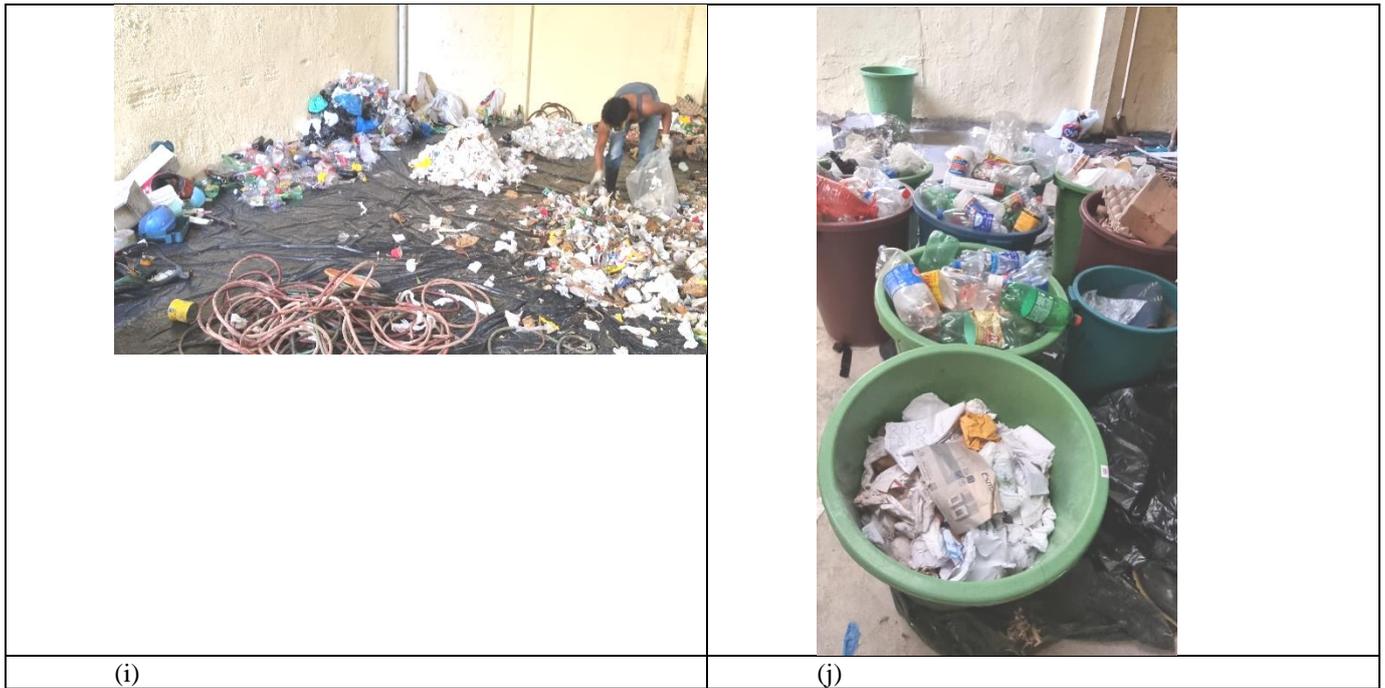
Figura 3. Coleta seletiva. (a) Nas ruas; (b) Nas lixeiras comunitárias; (c) veículo utilizado.





Figura 4. Gravimetria: (a) Retirada dos resíduos dos sacos plásticos; (b) mistura dos resíduos; (c) quarteamento; (d) separação de 1m<sup>3</sup> de resíduos; (e) e (f) pesagem dos resíduos misturados; (g) e (h) pesagem dos resíduos separados por tipo; (i) separação dos resíduos por tipo; (j) pesagem dos resíduos por tipo.

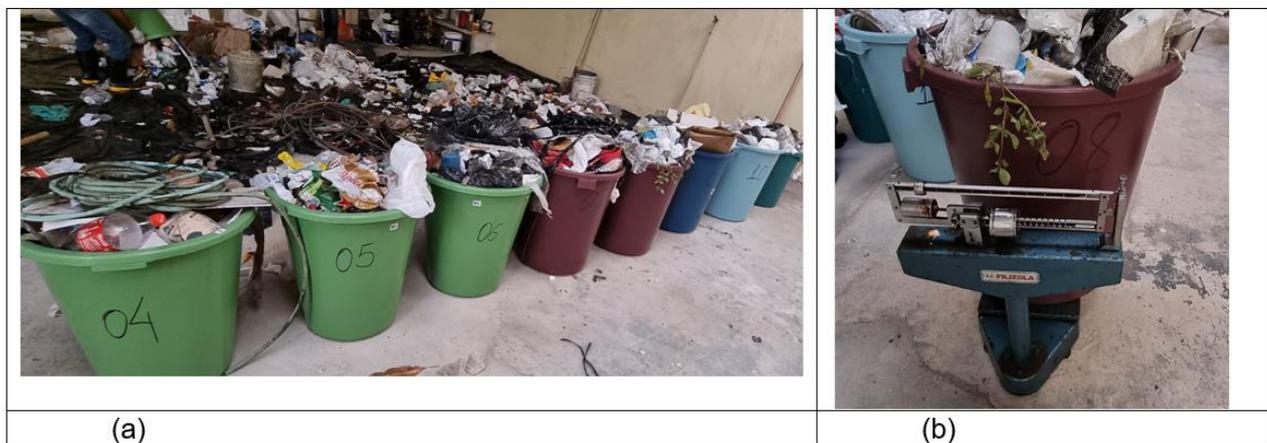




#### 4.2 PESO ESPECÍFICO APARENTE

Do volume de RSU coletado dos Barros, misturados e quarteado e que foram colocados em recipientes tipo baldes de 100 litros, num total de 1000 litros por cada um dos bairros, foram colocados na balança e medida a massa de cada um dos baldes obtendo a massa total do volume de 1000 litros, como mostra a Figura 5. A divisão aritmética dessa massa pelo volume é chamada de peso específico aparente do material, conforme a Equação 2. Esse parâmetro é de suma importância para as empresas de coleta seletiva. Por ter cunho quantitativo reflete a densidade dos RSU e varia muito de acordo com sua composição. Seu conhecimento resulta num adequado dimensionamento de rotas, número de caminhões coletores e maquinário de compactação.

Figura 5. Pesagem do volume de  $1\text{m}^3$  de RSU: (a) Medição do volume; (b) Medição da massa.





Equação 2. Peso específico aparente.

$$\text{Peso específico } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) = \frac{\text{massa do resíduo (Kg)}}{\text{volume do resíduo (m}^3\text{)}}$$

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 GRAVIMETRIA

Amostragens detalhadas do perfil gravimétrico dos resíduos sólidos urbanos de cada um dos bairros trabalhados resultaram nos dados e proporções percentuais apresentados na Tabela 2. Pode-se perceber as quantidades e percentuais de cada material constituinte dos resíduos coletados e trabalhados. A média dos bairros foi extraída bem como o desvio padrão amostral.

Tabela 2. Gravimetria de cada uma das regiões administrativas da cidade de Manaus-AM.

Bairros. ZONA NORTE	Kg	Kg	C.Nova	N.Israel	Média	DP
Mat. Orgânico	18,0	19,0	23,4%	23,1%	23,2%	0,2%
Papel/Papelão	16,2	17,1	21,1%	20,8%	20,9%	0,2%
Plástico Mole	6,7	10,3	8,7%	12,5%	10,6%	2,7%
Plástico Duro	7,9	9,0	10,3%	10,9%	10,6%	0,5%
PET	8,0	7,4	10,4%	9,0%	9,7%	1,0%
PP	1,4	1,8	1,8%	2,2%	2,0%	0,3%
Isopor	1,7	2,2	2,2%	2,7%	2,4%	0,3%
Metais	3,9	3,0	5,1%	3,6%	4,4%	1,0%
Madeira	1,1	0,8	1,4%	1,0%	1,2%	0,3%
Vidros	3,2	2,5	4,2%	3,0%	3,6%	0,8%
Rejeitos	8,8	9,2	11,4%	11,2%	11,3%	0,2%
TOTAL	76,9	82,3	100%	100%	100%	
Bairros. ZONA SUL	Kg	Kg	P.14	Educandos	Média	DP
Mat. Orgânico	19,4	16,1	24,5%	24,5%	24,5%	0,0%
Papel/Papelão	16,0	13,9	20,2%	21,1%	20,7%	0,7%
Plástico Mole	10,8	9,8	13,6%	14,9%	14,3%	0,9%
Plástico Duro	2,8	2,6	3,5%	4,0%	3,7%	0,3%
PET	5,3	4,7	6,7%	7,1%	6,9%	0,3%
PP	2,3	1,7	2,9%	2,6%	2,7%	0,2%
Isopor	2,1	1,0	2,6%	1,5%	2,1%	0,8%
Metais	2,7	1,8	3,4%	2,7%	3,1%	0,5%
Madeira	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Vidros	4,7	2,7	5,9%	4,1%	5,0%	1,3%
Rejeitos	13,2	11,5	16,6%	17,5%	17,1%	0,6%
TOTAL	79,3	65,8	100%	100%		
Bairros. ZONA LESTE	Kg	Kg	T. Neves	A. Mendes	MÉDIA	DP
Mat. Orgânico	17,6	18,5	24,2%	24,4%	24,3%	0,2%
Papel/Papelão	13,0	14,6	17,9%	19,3%	18,6%	1,0%
Plástico Mole	13,3	14,2	18,3%	18,7%	18,5%	0,3%
Plástico Duro	3,8	4,1	5,2%	5,4%	5,3%	0,1%
PET	5,4	6,0	7,4%	7,9%	7,7%	0,4%
PP	2,3	2,6	3,2%	3,4%	3,3%	0,2%
Isopor	1,8	1,7	2,5%	2,2%	2,4%	0,2%
Metais	5,0	4,0	6,9%	5,3%	6,1%	1,1%
Madeira	0,4	0,5	0,5%	0,7%	0,6%	0,1%
Vidros	3,2	2,8	4,4%	3,7%	4,0%	0,5%
Rejeitos	7	6,8	9,6%	9,0%	9,3%	0,5%
TOTAL	72,8	75,8	100%	100%		



Bairros. ZONA OESTE	Kg	Kg	Tarumã	Compensa	Média	DP
Mat. Orgânico	31,5	18,9	28,5%	27,8%	28,1%	0,5%
Papel/Papelão	20,3	12,4	18,4%	18,2%	18,3%	0,1%
Plástico Mole	15,1	9,1	13,7%	13,4%	13,5%	0,2%
Plástico Duro	9,1	5,2	8,2%	7,6%	7,9%	0,4%
PET	7,3	4,7	6,6%	6,9%	6,8%	0,2%
PP	3,5	2,0	3,2%	2,9%	3,1%	0,2%
Isopor	1,6	1,1	1,4%	1,6%	1,5%	0,1%
Metais	2,2	2,9	2,0%	4,3%	3,1%	1,6%
Madeira	1,1	0,0	1,0%	0,0%	0,5%	0,7%
Vidros	5,1	2,9	4,6%	4,3%	4,4%	0,2%
Rejeitos	13,8	8,9	12,5%	13,1%	12,8%	0,4%
TOTAL	110,6	68,1	100%	100%		

Bairros. ZONA CENTRO-SUL	Kg	Kg	P. Dez	Flores	Média	DP
Mat. Orgânico	18,2	15,3	25,9%	24,8%	25,3%	0,8%
Papel/Papelão	17,3	13,7	24,6%	22,2%	23,4%	1,7%
Plástico Mole	7,6	6,9	10,8%	11,2%	11,0%	0,3%
Plástico Duro	5,7	6,5	8,1%	10,5%	9,3%	1,7%
PET	5,1	5,8	7,2%	9,4%	8,3%	1,5%
PP	2,3	2,0	3,3%	3,2%	3,3%	0,0%
Isopor	1,0	1,2	1,4%	1,9%	1,7%	0,4%
Metais	2,5	1,6	3,6%	2,6%	3,1%	0,7%
Madeira	0,5	0,5	0,7%	0,8%	0,8%	0,1%
Vidros	1,8	1,6	2,6%	2,6%	2,6%	0,0%
Rejeitos	8,4	6,7	11,9%	10,8%	11,4%	0,8%
TOTAL	70,4	61,8	100%	100%		

Bairros. ZONA CENTRO-OESTE	Kg	Alvorada
Mat. Orgânico	15,80	24,3%
Papel/Papelão	15,90	24,5%
Plástico Mole	7,20	11,1%
Plástico Duro	6,00	9,2%
PET	5,10	7,8%
PP	2,60	4,0%
Isopor	1,30	2,0%
Metais	1,60	2,5%
Madeira	0,50	0,8%
Vidros	2,00	3,1%
Rejeitos	7,00	10,8%
TOTAL	65,0	100%

Os valores expressos na tabela acima são mostrados em gráficos para melhor visualização, nas Figuras: 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

Figura 6. Gravimetria da Zona Norte. Valores médios.

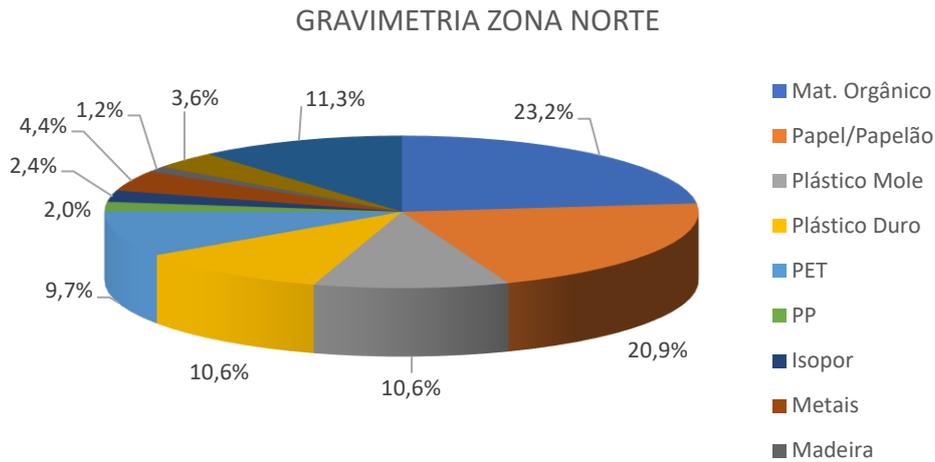


Figura 7. Gravimetria da Zona Sul. Valores médios.

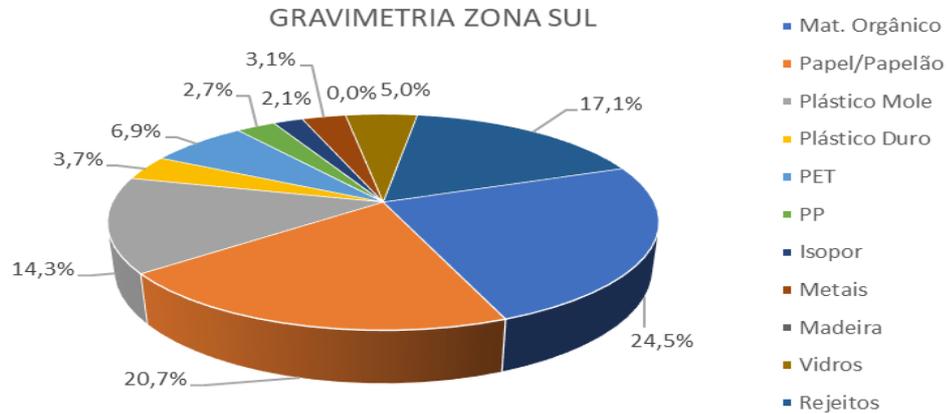


Figura 8. Gravimetria da Zona Leste. Valores médios.

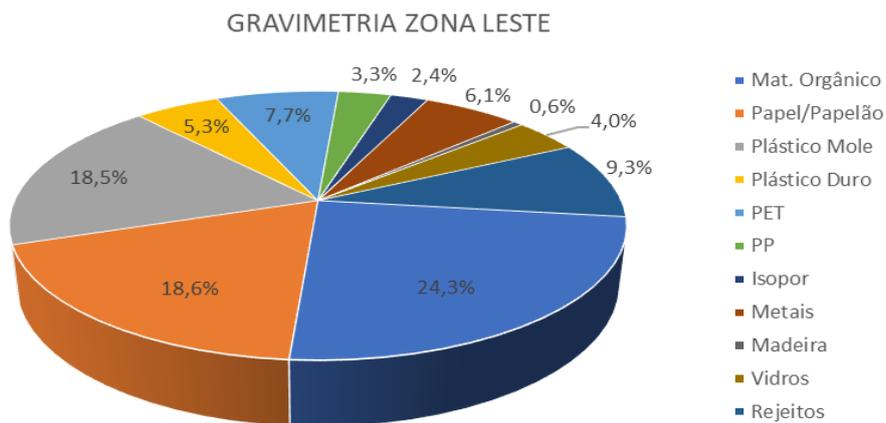


Figura 9. Gravimetria da Zona Oeste. Valores médios.

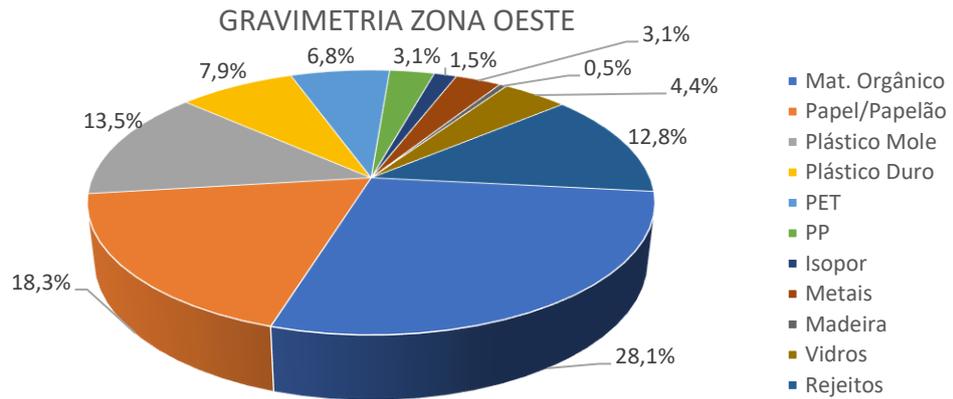


Figura 10. Gravimetria da Zona Centro-Sul. Valores médios.

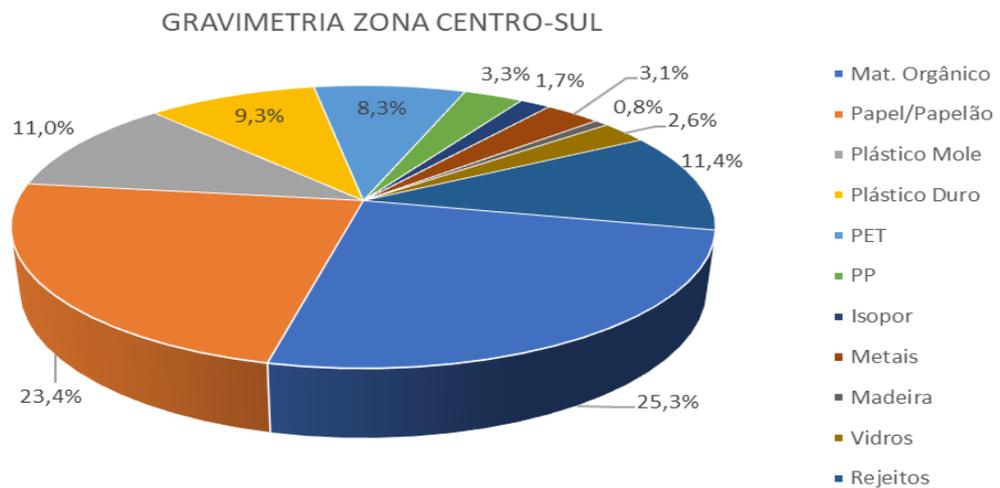
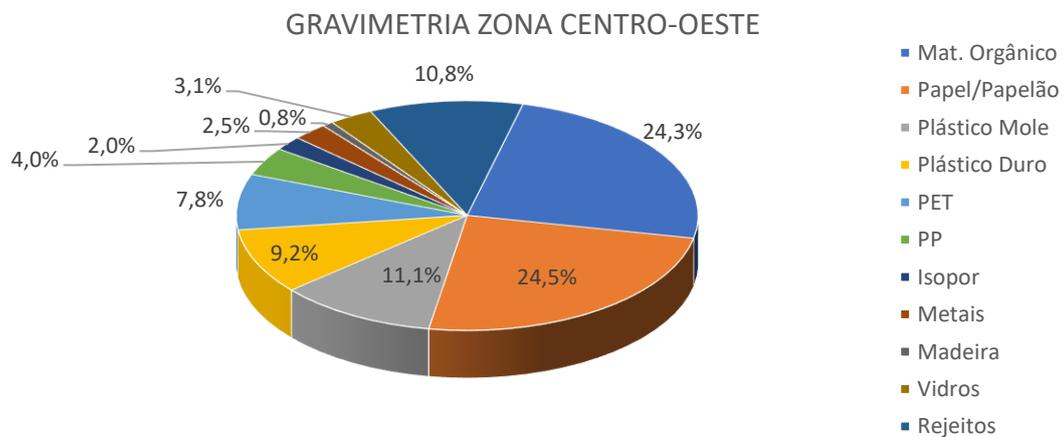


Figura 11. Gravimetria da Zona Centro-Oeste. Valores médios.



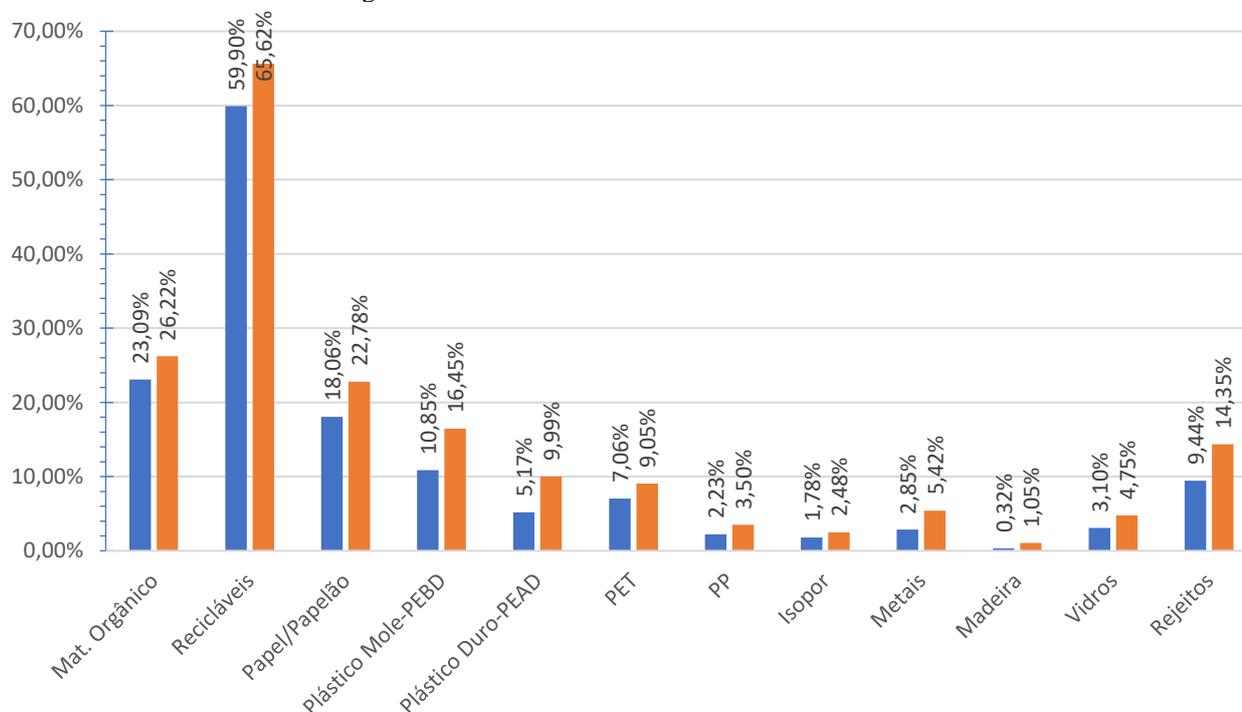


Os resultados indicaram uma variação parcial em determinados materiais se comparados a média nacional. O perfil dos resíduos se difere por apresentar maior quantidade de materiais recicláveis tais como papel, papelão e plásticos, em relação à média nacional, enquanto os resíduos orgânicos mostram-se em percentual superior. Isso se deve pela separação realizada nesse trabalho entre rejeito e material orgânico cuja destinação pode ser facilmente a biodigestão ou compostagem, conforme resumo descrito na Tabela 3.

Tabela 3. Frações percentuais por área administrativa e média ponderada de cada material componentes dos RSU.

COMPONENTES	FRAÇÃO PERCENTUAL						MÉDIA	MÉDIA PONDERADA
	NORTE	SUL	LESTE	OESTE	CENTRO-SUL	CENTRO-OESTE		
<b>Mat. Orgânico</b>	23,25%	24,5%	24,3%	28,1%	25,3%	24,3%	24,96%	24,66%
<b>Recicláveis</b>	64,24%	58,47%	65,81%	58,61%	62,55%	64,15%	62,31%	62,76%
Papel/Papelão	20,92%	20,7%	18,6%	18,3%	23,4%	24,5%	21,04%	20,42%
Plástico Mole-PEBD	10,61%	14,3%	18,5%	13,5%	11,0%	11,1%	13,16%	13,65%
Plástico Duro-PEAD	10,60%	3,7%	5,3%	7,9%	9,3%	9,2%	7,69%	7,58%
PET	9,70%	6,9%	7,7%	6,8%	8,3%	7,8%	7,86%	8,05%
PP	2,00%	2,7%	3,3%	3,1%	3,3%	4,0%	3,06%	2,87%
Isopor	2,44%	2,1%	2,4%	1,5%	1,7%	2,0%	2,02%	2,13%
Metais	4,36%	3,1%	6,1%	3,1%	3,1%	2,5%	3,69%	4,14%
<b>Madeira</b>	1,20%	0,0%	0,6%	0,5%	0,8%	0,8%	0,64%	0,69%
Vidros	3,60%	5,0%	4,0%	4,4%	2,6%	3,1%	3,79%	3,92%
<b>Rejeitos</b>	11,31%	17,1%	9,3%	12,8%	11,4%	10,8%	12,10%	11,90%
<b>TOTAL</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Fator ponderação	0,2799	0,1600	0,2502	0,1417	0,0853	0,0829		

Figura 12. Gravimetria final da cidade de Manaus -AM.



Para uma melhor compreensão a Figura 12 procura mostrar os valores finais levando-se em conta a ponderação de acordo com a população de cada uma das áreas administrativas, conforme a Tabela 4.



Tabela 4. População e coeficiente de ponderação por área administrativa da cidade Manaus – AM.

ZONA	População (hab)	Ponderação (w)
NORTE	592.325	0,2799
SUL	338.674	0,1600
LESTE	529.543	0,2502
OESTE	299.782	0,1417
CENTRO-SUL	180.577	0,0853
CENTRO-OESTE	175.353	0,0829
	2.116.254	1,0000

A maior representatividade dos resíduos recicláveis (59% a 65%) e a pequena redução proporcional dos orgânicos (23% a 26%) e de rejeitos (10% a 14%), enquanto a média nacional esses valores são de 28%, 50% e de 22% respectivamente, possivelmente são consequências do uso excessivo de embalagens, devido à quantidade de pessoas que passam a residir nas proximidades do Polo Industrial de Manaus e da área comercial e de serviços existentes na área urbana da cidade. Na análise de campo foram constatados que, ao menos 50% desse material plástico são oriundos de embalagens recicláveis (ou com facilidade de encontrar valor comercial no mercado), evidenciando a possibilidade de coleta seletiva se uma usina de triagem for instalada antes dos resíduos serem aterrados. Tais características se deve ao fato de ser cada vez maior o uso de embalagens, evidenciando a necessidade de políticas públicas locais de responsabilidade pós-consumo, análise de ciclo de vida do produto e comercialização prioritária de produtos com embalagens sustentáveis.

## 5.2 PESO ESPECÍFICO APARENTE

Os volumes e massas das amostragens de cada um dos bairros das seis regiões administrativas estão demonstrados na Tabela 5, bem como os resultados dos pesos específicos aparentes após a aplicação da equação 2.

Tabela 5. Peso específico aparente dos RSU das regiões administrativas da cidade de Manaus-AM

LOCAL	VOLUME:	BRUTO:	LÍQ:	PESO ESPECÍFICO:
	litros	Kg	Kg	Kg/m <sup>3</sup>
Novo Israel	988,0	105,10	82,30	83,30
Cidade Nova	988,0	99,70	76,90	77,83
Educandos	988,0	88,60	65,80	66,60
Praça 14	988,0	102,10	79,30	80,26
Armando Mendes	988,0	98,60	75,80	76,72
Tancredo Neves	988,0	95,60	72,80	73,68
Compensa	988,0	90,90	68,10	68,93
Tarumã	988,0	133,40	110,60	111,94
Flores	988,0	84,60	61,80	62,55
Parque Dez	988,0	93,20	70,40	71,26
Alvorada	988,0	87,80	65,00	65,79
MÉDIA	988,0	95,60	72,80	73,68



Uma das consequências da presença em percentual alto de embalagens e materiais recicláveis é o valor médio de peso específico aparente,  $73,68 \text{ Kg/m}^3$ , aproximadamente um terço da média nacional, confirmando a grande quantidade de materiais leves e contendo ar em seu interior, como embalagens e possibilitando um grau de compactação elevado ao se dimensionar a rota e a quantidade de caminhões coletores compactadores de resíduos.

Os estudos realizados nesses bairros foram fundamentais para a coleta de dados iniciais e atualizados, que possibilitaram a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos da cidade de Manaus, estado do Amazonas, e irão possibilitar outros estudos. Por enquanto constatou-se uma grande quantidade de material com capacidade de serem reciclados ( $62\% \pm 2\%$ ), apesar das campanhas publicitárias do poder público, com peso específico aparente baixo, confirmando pouca matéria orgânica e muito material leve e passível de reciclagem, levando ao pensamento de instalação de uma usina de triagem como alternativa para a diminuição dos resíduos destinados ao aterro da cidade, aumentando a vida útil desse e o reaproveitamento dos materiais recicláveis, trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais à cidade e seus habitantes.



## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10007/2004 - Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2018/2019. Brasília. DF. 2020.

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2020/2021. Brasília. DF. 2022.

ABREN: Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos. Regulação Nacional e Internacional de Waste-to-Energy. WASTE EXPO BRASIL, 12-14 novembro de 2019. São Paulo – SP.

CEMPRE: COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. Preço do Materiais Recicláveis. Revista Cempre Review. Ed. 159, 2019. Disponível em < <http://cempre.org.br/cempre-informa/id/115/preco-dos-materiais-reciclaveis>>. Acesso em 12 nov. 2020.

DIAS. J. O. V. ESTUDO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA. Monografia. Universidade do Estado do Amazonas - UEA. Manaus-AM. 2016.

FERREIRA. R. S. Desativação do Aterro Controlado do Jóquei X Transferência para o Aterro Sanitário de Brasília: Análises dos Principais Aspectos Sociais e Ambientais. UNICEUB- DF., 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Conheça cidades e estados do Brasil. 2020. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/panorama>>. Acesso em 29 set. 2020.

ISWA – International Solid Waste Association. Dumpsites: A Global Waste Emergency. Out, 2019. Disponível em <<https://closingdumpsites.iswa.org/why/why-close-dumpsites/>>. Acesso em 12 Dez. 2020.

LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.

MCIDADES: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Termo de referência técnico: elaboração do projeto básico e executivo completo de galpão / unidade de triagem para coleta seletiva, 2010. Disponível em < [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/16\\_TRProjRSUGalpao\\_triagem%202010\\_2011.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/16_TRProjRSUGalpao_triagem%202010_2011.pdf)>. Acesso em 14 abr. 2021.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. MMA abre consulta pública para alavancar a cadeia de reciclagem e reutilização de embalagens. 2020. Disponível em < <https://mma.gov.br/component/k2/item/15752-mma-abre-consulta-p%C3%BAblica-para-alavancar-a-cadeia-de-reciclagem-e-reutiliza%C3%A7%C3%A3o-de-embalagens.html> >. Acesso em 25 out. 2020.

PRS: PORTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. Como montar uma usina de triagem de resíduos sólidos. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=XqI-J7pRYbM>>. Acesso em 11 abr. 2021.

RETEC: TECNOLOGIAS EM RESÍDUOS. Problemas que o lixo causa. 2015. Disponível em <<https://www.retecresiduos.com.br/problemas-que-o-lixo-causa/#:~:text=Doen%C3%A7as%3A%20O%20lixo%20que%20vai,disenteria%2C%20peste%20bub%C3%B4nica%20e%20leishmaniose.>>>. Acesso em: 24 mai. 2020.

SANEAMENTO BÁSICO. 2020. Artigo: Lixões a céu aberto são tão graves quanto uma pandemia, de



19/05/2020. Disponível em

< <https://www.saneamentobasico.com.br/lixoes-ceu-aberto-pandemia/>>. Acesso em: 25 nov. 2020.