



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental
Curso de Graduação de Engenharia Ambiental



Vinícius Henrique Neves Silveira

**GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

ESTUDO DE CASO: OURO PRETO - MG

Ouro Preto – MG

Junho, 2022

**GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

ESTUDO DE CASO: OURO PRETO – MG

Vinícius Henrique Neves Silveira

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da Aprovação: 23/06/2022

Área de concentração: Saneamento Básico

Orientador: Profa. Tamara Daiane de Souza – UFOP

Coorientador: Prof. Múcio André dos Santos Alves Mendes – UFOP

Ouro Preto – MG

Junho, 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S587g Silveira, Vinicius Henrique Neves.
Geoprocessamento como ferramenta de gestão de resíduos sólidos urbanos [manuscrito]: estudo de caso Ouro Preto MG. / Vinicius Henrique Neves Silveira. - 2022.
69 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Tamara Daiane de Souza.
Coorientador: Prof. Dr. Múcio André dos Santos Alves Mendes.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Resíduos Sólidos Urbanos. 2. Ouro Preto (MG). 3. Saneamento. 4. sistema de informação geográfica (SIG). I. Mendes, Múcio André dos Santos Alves. II. Souza, Tamara Daiane de. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Vinícius Henrique Neves Silveira

Geoprocessamento como ferramenta de gestão de resíduos sólidos urbanos - Estudo de caso: Ouro Preto – MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 23 de junho de 2022

Membros da banca

Doutor Múcio André dos Santos Alves Mendes - Coorientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor Aníbal da Fonseca Santiago- (Universidade Federal de Ouro Preto)
Mestre Grazielle Rocha dos Santos - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Tamara Daiane de Souza, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/07/2022



Documento assinado eletronicamente por **Múcio André dos Santos Alves Mendes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/07/2022, às 21:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0366253** e o código CRC **80FF0F20**.

RESUMO

A gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é uma questão ambiental de grande relevância que tem preocupado o poder público e a sociedade em geral. Parte disso se deve ao aumento da taxa de geração de resíduos pela mudança nos padrões de consumo e o adensamento populacional em áreas urbanas. Neste contexto, o uso de metodologias que utilizam conceitos e técnicas de geoprocessamento, cartografia, análise espacial e sistemas de informações geográficas (SIG) podem proporcionar diversas vantagens na gestão dos RSU. O objetivo principal deste trabalho é avaliar uma metodologia de elaboração de mapas de geração de Resíduos Sólidos Urbanos através do uso de geoprocessamento tendo como escopo a área urbana do município de Ouro Preto – MG. Também se objetiva comparar os mapas gerados com outras metodologias de espacialização de geração de RSU, utilizando-se de dados secundários presentes na literatura. Para a criação de mapas de geração de RSU através de SIG foi utilizado uma metodologia indireta e multicriterial de obtenção de dados proposta por Gallardo et al. (2014). Também foram produzidos mapas com a espacialização da geração de RSU calculada a partir do valor médio da taxa de geração per capita média e da renda de cada bairro da cidade, para posterior comparação com a metodologia de geoprocessamento multicriterial adotada. A metodologia multicriterial de análise da geração de RSU a partir de SIG apresentou resultados médios próximos aos observados na literatura, adicionando um maior detalhamento quanto a espacialização desta geração. As demais metodologias analisadas apresentaram valores próximos à metodologia multicriterial nos bairros residenciais, destoando apenas em áreas de maior atividade comercial e turística. Desta forma esta metodologia multicriterial se mostrou como uma ferramenta útil no gerenciamento de RSU principalmente em escopos com algumas particularidades observadas, como municípios com a economia voltada ao comércio e ao turismo, com alto índice de população flutuante e/ou com grande diferenciação de renda entre suas regiões. Tem-se a expectativa que as informações obtidas neste trabalho possam subsidiar estratégias mais eficientes no âmbito do gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos do ponto de vista econômico, ambiental e social.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Ouro Preto, Saneamento, SIG.

ABSTRACT

The Urban Solid Waste Management (USWM) is an environmental issue of great importance that has worried the public power and society in general. Part of this is due to the increase in the rate of waste generation due to the change in consumption patterns and the population density in urban areas. In this context, the use of methodologies that use concepts and techniques of geoprocessing, cartography, spatial analysis and geographic information systems (GIS) can provide several advantages in the management of USW. The main objective of this work is to evaluate a methodology for the elaboration of maps of urban solid waste generation through the use of geoprocessing having as scope the urban area of the municipality of Ouro Preto - MG. It also aims to compare the generated maps with other methodologies of spatialization of USW generation, using secondary data present in the literature. For the creation of USW generation maps through GIS, an indirect and multicriteria data acquisition methodology proposed by Gallardo et al. (2014). Maps were also produced with the spatialization of USW generation calculated from the average value of the average per capita generation rate and the income of each neighborhood in the city, for later comparison with the adopted multicriteria geoprocessing methodology. The multicriteria analysis methodology of USW generation from GIS presented average results close to those observed in the literature, adding a greater detail regarding the spatialization of this generation. The other methodologies analyzed presented values close to the multicriteria methodology in residential neighborhoods, differing only in areas of greater commercial and tourist activity. In this way, this multi-criteria methodology proved to be a useful tool in the management of USW, especially in scopes with some observed particularities, such as municipalities with an economy focused on commerce and tourism, with a high rate of floating population and/or with great income differentiation between their regions. It is expected that the information obtained in this work can support more efficient strategies in the field of urban solid waste management from an economic, environmental and social point of view.

Keywords: Urban Solid Waste, Ouro Preto, Sanitation, GIS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Atividades Ligadas ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos.....	15
Figura 2 - Sede e Distritos de Ouro Preto.....	26
Figura 3 - Estabelecimentos comerciais classificados conforme o porte.	37
Figura 4 - Esquema de determinação da população de cada bairro de Ouro Preto-MG.	44
Figura 5 - Metodologia de construção dos mapas de TGD.	48
Figura 6 - Mapa de TGD Geral de Ouro Preto	50
Figura 7 - Mapa de TGD de Ouro Preto - MG. Mês de Referência: fevereiro.....	52
Figura 8 - Mapa de TGD de Ouro Preto. Mês de Referência: abril.	54
Figura 9 - Mapa de TGD de Ouro Preto. Mês de Referência: outubro.	55
Figura 10 - Mapa Geral de geração de RSU diária elaborado a partir	59
Figura 11 - Mapa de Geração Diária de RSU a partir da metodologia de Dias et al. (2012)...	60
Figura 12 - Mapa de Geração Diária de RSU a partir do TGD Médio obtido no PIGIRS.....	61

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Geração per capita diária de RSU (kg/hab./dia) nas regiões.....	19
Gráfico 2 - Destinação final de RSU por regiões no Brasil.....	20
Gráfico 3 - Composição Gravimétrica do RSU considerada.....	23
Gráfico 4 - Geração Per Capita Diária de RSD x Renda Per Capita Mensal.	31
Gráfico 5 - População flutuante em função dos eventos festivos.....	40
Gráfico 6 - Valores de TGD Geral em relação ao Coeficiente de Atividade Econômica (CAE) e ao Coeficiente de Renda (C\$).....	51
Gráfico 7 - TGD de fevereiro analisando Coeficiente de Renda (C\$), Coeficiente de Atividade Econômica (CAE) e Coeficiente de Sazonalidade (CZ). Mês de referência: fevereiro.	53
Gráfico 8 - TGD referente ao mês de outubro com relação a Coeficiente de Renda (C\$), Coeficiente de Atividade Econômica (CAE) e Coeficiente de Sazonalidade (CZ). Mês de referência: outubro.....	56

Gráfico 9 - Comparação entre as diferentes metodologias de estimação	62
--	----

QUADROS

Quadro 1 - Produtos vinculados a cada uma das etapas do Plano de Trabalho do PIGIRS/CIMVALPI.	22
Quadro 2 - Classificação por porte das repúblicas de Ouro Preto-MG.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos dos Componentes dos RSU.	12
Tabela 2 - Classe social e TGD dos bairros de Ouro Preto - MG.	32
Tabela 3 - Classificação por porte dos estabelecimentos comerciais.	33
Tabela 4 - Quantidade de RSU conforme porte dos estabelecimentos comerciais.	37
Tabela 5 - RSU médio mensal por porte de estabelecimentos comerciais.	38
Tabela 6 - Distribuição da população flutuante de Ouro Preto - MG.	41
Tabela 7 - Geração de RSU pela população flutuante de Ouro Preto - MG.	42
Tabela 8 - Definição dos Coeficientes de geração de RSU.	46
Tabela 9 - Coeficientes de Geração de RSU.	46
Tabela 10 - Quadro Resumo com valores de TGD por bairro.	57
Tabela 11 - RSU Gerado diariamente em cada bairro.	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	9
2.1. Objetivos Específicos	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1. Definição e Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	10
3.2. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	11
3.2.1. Caracterização Física.....	12
3.2.2. Caracterização Química.....	13
3.2.3. Caracterização Biológica.....	14
3.3. Gestão e gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos	14
3.4. Políticas nacionais de Resíduos Sólidos Urbanos.....	17
3.5. Diagnóstico de RSU no Brasil	19
3.6. Gestão de RSU em Ouro Preto – MG.....	21
3.6.1. Geração.....	23
3.6.2. Acondicionamento e Coleta	23
3.6.3. Disposição Final	24
3.7. Uso de geoprocessamento para espacialização de RSU	24
4. METODOLOGIA	25
4.1. Caracterização da Área de Estudo	25
4.2. Elaboração de mapas de geração de RSU através de Geoprocessamento	27
4.2.1. Taxa Anual de Geração Per Capta (TAG).....	28
4.2.2. Renda.....	29
4.2.3. Atividade Econômica	32
4.2.4. Sazonalidade.....	39
4.2.5. Distribuição Populacional	42
4.2.6. Definição dos Coeficientes.....	44

4.2.7. Construção de Mapas de RSU	47
4.3. Comparação entre diferentes métodos de criação de mapas de geração de RSU	48
5. RESULTADOS.....	49
5.1. Criação de Mapas de geração de RSU através de Geoprocessamento	49
5.1.1. Mapa de TGD Geral	49
5.1.2. Mapa de TGD de fevereiro	52
5.1.3. Mapa de TGD de abril e julho	54
5.1.4. Mapa de TGD de outubro.....	55
5.2. Comparação entre diferentes métodos de criação de mapas de geração de RSU	58
6. CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

A gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é uma questão ambiental de grande relevância que tem preocupado o poder público e a sociedade em geral. Parte disso se deve ao aumento da taxa de geração de resíduos pela mudança nos padrões de consumo, a rápida obsolescência de produtos e o crescimento populacional em áreas urbanas (GALLARDO et. al., 2014).

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2020), a geração de RSU no país aumentou cerca de 19% entre os anos de 2010 e 2019. Também é crescente a quantidade de resíduos dispostos em áreas inadequadas, como lixões e aterros controlados, que passaram de 25 milhões de toneladas em 2010 para 29 milhões de toneladas em 2019. Este relatório pontua que, embora tenham tido melhorias em alguns setores como o aumento da coleta seletiva, os avanços ainda se dão de forma lenta, decorrente da ausência do reconhecimento da importância de uma gestão adequada e de instrumentos econômicos que estimulem as práticas mais eficientes.

Com o intuito de superar os desafios em torno do tema, foi sancionada no dia 2 de agosto de 2010 a lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos, que dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos e sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil (BRASIL, 2010). Esta lei foi um importante passo para o avanço no tratamento de resíduos urbanos sob a premissa do desenvolvimento sustentável, estabelecendo responsabilidades compartilhadas entre a União, estados e municípios (JACINTO e ZOGAHIB, 2016). Em adição, no dia 15 de julho de 2020 foi sancionada a lei 14.026, conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (BRASIL, 2020). Ela traz alterações e complementos importantes às legislações anteriores, como estabelecimento de metas para cobertura dos serviços de saneamento e estímulo ao investimento privado através de licitações entre empresas públicas e privadas.

O município de Ouro Preto - MG passou por expansão populacional a partir da década de 1940, demandando a criação de novas áreas urbanas que, como em boa parte do país, não precedeu de planejamento adequado (OLIVEIRA e SOBREIRA, 2015). Muitos dos problemas oriundos desse baixo planejamento são refletidos na área de saneamento básico da cidade. Além da demanda por maior eficiência na gestão de resíduos, o município possui especificidades verificadas em poucas regiões, sendo uma cidade turística, possuir grandes instituições educacionais e estar localizada em um grande polo minerador.

Em suma, a adoção de instrumentos que auxiliem a gestão de resíduos sólidos pode diminuir os impactos negativos oriundos de uma administração incorreta. O uso de metodologias que utilizam conceitos e técnicas de geoprocessamento, cartografia e análise espacial podem proporcionar diversas vantagens na gestão dos RSU, podendo auxiliar na definição de áreas para implantação de aterros sanitários, pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis, locais para unidades de transbordo, rotas de coleta, dimensionamento de coletores, dimensionamento de frota, dentre outras (ORNELAS, 2011).

Portanto, a presente pesquisa tem como intuito testar uma metodologia de criação de mapas de geração de Resíduos Sólidos Urbanos através do uso de geoprocessamento, tendo como escopo a cidade Ouro Preto – MG, comparando com outras metodologias de espacialização de geração de RSU que se utilizam de dados secundários presentes na literatura.

2. OBJETIVOS

Este trabalho objetiva testar uma metodologia de criação de mapas de geração de Resíduos Sólidos Urbanos através do uso de sistema de informação geográfica (SIG) a partir da obtenção de dados de forma indireta.

2.1. Objetivos Específicos

- Avaliar os principais fatores que influenciam a geração de RSU na área urbana (sede) de Ouro Preto – MG;
- Sistematizar os dados socioeconômicos, temporais e culturais que alterem aspectos quantitativos dos Resíduos Sólidos Urbanos de Ouro-Preto-MG;
- Elaborar mapas de geração de RSU através do geoprocessamento pela metodologia indireta de obtenção de dados;
- Elaborar mapas de geração de RSU a partir de critérios isolados contidos na literatura;
- Realizar análise comparativa entre os mapas gerados por diferentes metodologias.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Definição e Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pertencem a um subconjunto dos resíduos sólidos para os quais podem ser observadas diversas definições na literatura, sendo comumente utilizadas no Brasil as determinadas nas legislações e nas normas específicas sobre o tema.

A norma brasileira ABNT NBR 10004 (2004a), que tem como objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, define os resíduos sólidos como:

“

(...) Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, 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 10004, 2004a, p.1).

A lei 12.305 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), traz uma definição mais específica do ponto de vista de gestão de resíduos sólidos, definindo-os 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, p. 1).

A classificação de resíduos sólidos pode se dar de diversas formas variando conforme a legislação ou a norma apresentada. As classificações mais adotadas se baseiam na origem e na periculosidade do resíduo sólido. A norma ABNT 10004 (2004a) classifica os resíduos sólidos em classe I (perigosos) e classe II (não-perigosos), tendo cada uma destas classes, subclassificações conforme sua categoria. Os resíduos da classe I (perigosos) podem ser classificados conforme sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Já os resíduos sólidos de classe II (não perigosos) são classificados como inertes, quando seus constituintes não são solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, e não inertes quando não se enquadram em nenhuma das classificações

de resíduos perigosos, podendo apresentar propriedades como combustibilidade, solubilidade e biodegradabilidade.

No Art. 3º da PNRS (BRASIL, 2010) é possível notar uma classificação que, além de distinguir os resíduos sólidos conforme sua periculosidade, os categoriza conforme sua origem. Quanto à sua origem, os resíduos sólidos podem ser classificados como urbanos, domiciliares, industriais, agrossilvopastoris, provenientes da limpeza urbana, provenientes de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, provenientes dos serviços públicos de saneamento básico, provenientes dos serviços de saúde, provenientes dos serviços de transporte e provenientes da mineração. Quanto à periculosidade, eles podem ser classificados como perigosos e não perigosos.

Os Resíduos Sólidos Urbanos correspondem à parcela dos resíduos sólidos gerados em áreas urbanas, sendo representado pela união dos Resíduos Sólidos Domiciliares e dos Resíduos Sólidos da Limpeza Urbana, conforme estipulado pela PNRS. Embora existam classificações de RSU que compreendam resíduos sólidos provenientes de outras atividades como construção civil e serviços de saúde, a legislação brasileira estipula que os RSU são apenas os originados de residências urbanas e da limpeza pública. É importante ressaltar que alguns resíduos provenientes de estabelecimentos comerciais, industriais e de serviços são considerados pela PNRS como domiciliares, desde que não sejam caracterizados como resíduos perigosos e possuam quantidade e qualidade similares aos resíduos domésticos. Os RSU provenientes da limpeza pública incluem varrição, capina e poda; limpeza e desobstrução de bueiros, bocas de lobo e correlatos; raspagem e remoção de materiais depositados pelas águas pluviais em logradouros públicos; asseio de túneis, escadarias, monumentos, abrigos e sanitários públicos; limpeza de logradouros públicos onde se realizem eventos de acesso aberto ao público; outros eventuais serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2020).

3.2. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os RSU podem ser caracterizados quanto aos seus aspectos físicos, químicos e biológicos. Esta caracterização pode fornecer informações que permitam um diagnóstico ambiental de uma determinada região, embasando as práticas de gestão e de gerenciamento de RSU.

As características qualitativas e quantitativas dos resíduos sólidos podem variar a partir de diversos fatores como aspectos culturais, econômicos, geográficos, climáticos e sociais (FERREIRA & FANTONI, 2016).

3.2.1. Caracterização Física

Dentre os aspectos físicos destacam-se peso, volume, composição gravimétrica, densidade, temperatura, compressibilidade e teor de umidade. Uma das etapas mais importantes da gestão de RSU ainda na fase de planejamento é o levantamento da quantidade e da classificação dos resíduos gerados (OLIVEIRA et al., 2013). A contabilização de resíduos sólidos é feita através do volume (m³) ou a partir do peso (kg ou toneladas), sendo comumente expresso pela relação da quantidade por habitante ou localidade em um dado intervalo de tempo. Com a composição gravimétrica é possível determinar os constituintes em peso e volume de uma amostra de resíduos presentes em uma determinada quantidade de resíduos (ABNT, 2004b), sendo possível assim, inferir sobre a destinação mais adequada para cada tipo de resíduo gerado (OLIVEIRA et al., 2013). A principal forma de se estimar a composição gravimétrica em uma dada quantidade de resíduos sólidos é o quarteamento, conforme método determinado pela norma ABNT NBR 10007 de 2004 (ABNT, 2004b).

Os componentes geralmente observados na gravimetria dos resíduos sólidos e os grupos a quais eles pertencem, de acordo com a Companhia Municipal de Limpeza Urbana – RJ (COMLURB, 2020), estão expressos na Tabela 1. Esta composição tem como foco apenas os Resíduos Sólidos Domiciliares e tende a apresentar variação na concentração de cada componente descrito conforme a localidade analisada e do tempo em que o resíduo fica estocado (SOARES, 2011).

Tabela 1 - Grupos dos Componentes dos RSU.

Grupo	Componente
Papel	Papel, Papelão, Papel Sanitário, Tetra Pak
Plástico	Duro, Filme, PET
Vidro	Vidro Claro, Vidro Escuro
Orgânico	Matéria Orgânica Putrescível, Agregado fino
Metal	Metal Ferroso, Metal Não Ferroso
Inerte	Pedra, Louça, Cerâmica, Areia, Terra
Outros	Folha, Madeira, Folhas, Flores, eletrônicos, Borracha, têxteis, Couro, Ossos

Fonte: COMLURB (2020).

O teor de umidade dos RSU varia conforme a composição gravimétrica, sendo os altos valores observados em porções de resíduos com maior teor de matéria orgânica. Este parâmetro é muito usado em sistemas controlados de compostagens onde a matéria orgânica passa por decomposição microbiana, oxidação e oxigenação (TEIXEIRA, 2002). Segundo Cajazeira et. al. (2004), a umidade afeta diretamente o processo de decomposição da matéria orgânica do RSU, devendo ser medida e controlada para que apresente valores entre 40% a 60%, obtendo-se assim, uma maior eficiência em um processo de compostagem. O teor de umidade também interfere na produção de biogás, no peso específico e no poder calorífico de uma determinada quantidade de RSU (SOARES, 2011).

Assim como o teor de umidade, a temperatura também é um dos parâmetros físicos que interfere diretamente na decomposição da matéria orgânica. Ela tende a variar conforme a composição gravimétrica do RSU, do teor de umidade e da localidade onde o resíduo é alocado. A temperatura aumenta à medida que a matéria orgânica é decomposta em função do trabalho exercido pelos microrganismos dentro uma pilha de RSU (CAJAZEIRA, 2004), sendo comumente usada para medir a eficiência de um processo de compostagem (PEREIRA NETO, 1988).

3.2.2. Caracterização Química

O conhecimento das propriedades químicas dos RSU auxilia no gerenciamento e na gestão de RSU, podendo indicar melhores maneiras de tratamento e disposição final destes resíduos, além de inferir sobre o impacto ambiental que eles podem ocasionar quando submetidos a diferentes métodos de gerenciamento. No entanto, o levantamento dessas informações geralmente é mais dispendioso e difícil quando se comparado aos aspectos físicos (RIBER et. al., 2007). Alguns dos parâmetros químicos geralmente analisados são o poder calorífico, a composição química, a relação carbono/nitrogênio e o pH.

O poder calorífico é a quantidade de calor liberado por um material a partir da sua combustão (QUIRINO et. al., 2004), sendo normalmente medido quando se é utilizado métodos de tratamento térmicos de RSU, como a incineração. A relação carbono/nitrogênio é um dos indicadores do grau da decomposição da matéria orgânica, geralmente associada ao processo de compostagem. Já o pH indica a alcalinidade ou a acidez dos resíduos, podendo indicar possíveis impactos ambientais gerados pela lixiviação do chorume.

3.2.3. Caracterização Biológica

A caracterização biológica dos RSU se dá a partir da análise da população microbiana estando diretamente relacionada à decomposição da matéria orgânica e da patogenicidade dos resíduos sólidos. Existem métodos de tratamento de RSU em que a proliferação de microrganismos se faz necessária para aceleração do processo de decomposição da matéria orgânica, sendo feito in loco ou através de reatores (KAN, 2005). Este estímulo microbiano se dá principalmente pelo controle de parâmetros físicos como temperatura e o teor de umidade, de forma que as bactérias e os fungos que degradam a matéria orgânica consigam se reproduzir concomitantemente à diminuição de patógenos (LOPES et. al. 2009).

3.3. Gestão e gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) a gestão de resíduos sólidos é o

“conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2010).

A gestão de resíduos sólidos possui um caráter administrativo incluindo as diferentes etapas de planejamento ao entorno do tema, das quais se destacam a elaboração de políticas públicas, planos de gestão e planos gerenciamento de resíduos; determinação das metodologias de gerenciamento aplicáveis; o levantamento das demandas de cada localidade; o levantamento dos recursos a serem aplicados; promoção da educação ambiental; e a integração dos planos estabelecidos com os diversos setores da sociedade.

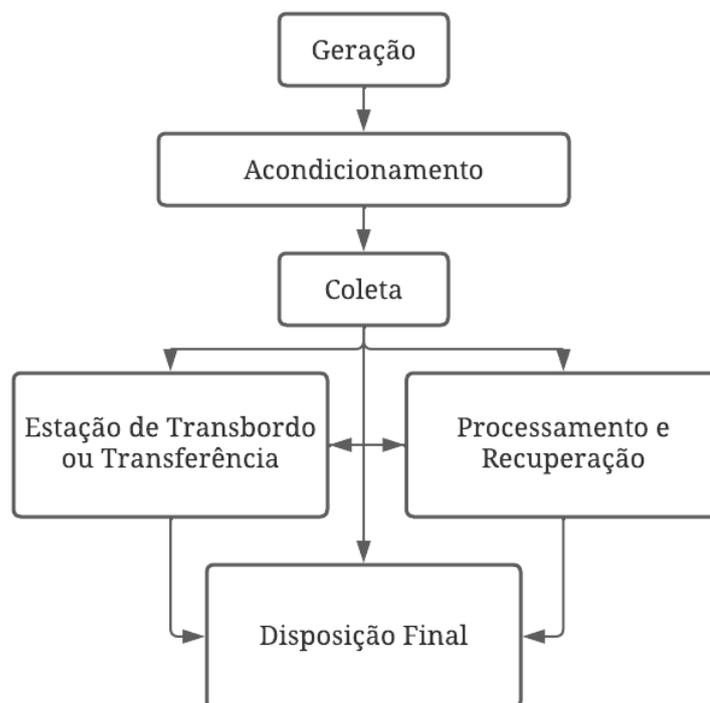
O gerenciamento dos resíduos sólidos possui caráter mais executivo, comumente realizado por empresas contratadas pelo poder público. A PNRS define, o gerenciamento de resíduos sólidos como o:

“conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos

sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta lei.” (BRASIL, 2010).

As principais etapas percorridas pelos RSU consideradas pelo gerenciamento de RSU são a geração, o acondicionamento, a coleta, a destinação, o tratamento e a disposição final. Nem sempre os resíduos passam por tratamento, sendo por vezes coletados e direcionados à disposição final. Alguns resíduos coletados também são direcionados para estações de transbordo ou transferência, sendo estes um acondicionamento temporário antes de serem destinados ao tratamento ou disposição. De forma a incluir as diferentes etapas do gerenciamento de resíduos, Tchobanoglous (1977) separou as etapas do gerenciamento de resíduos em seis elementos funcionais conforme fluxograma apresentado pela Figura 1.

Figura 1 - Atividades Ligadas ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos.



Fonte: Tchobanoglous (1977)

A geração de RSU ocorre na área urbana como um todo, sendo em residências, em estabelecimentos comerciais, nas indústrias e nas instituições e espaços públicos. Ela geralmente é estimada a partir dos resíduos sólidos que chegam à destinação onde é realizada a contabilização dos mesmos, sendo geralmente representada pelo peso, volume e pela taxa de geração per capita diária (TGD).

A etapa de acondicionamento é caracterizada pela preparação dos RSU para coleta (IBAM, 2004), correspondendo à coleta e ao acondicionamento efetuado no ponto onde os resíduos foram gerados, sejam em lixeiras residenciais ou em coletores de lixo distribuídos pela cidade (ORNELAS, 2011).

A coleta e a destinação correspondem aos serviços de recolhimento dos resíduos armazenados e o direcionamento dos mesmos aos pontos de tratamento ou disposição final. Ela engloba todo o trajeto percorrido pelo veículo transportador de RSU ao ponto de acondicionamento, onde é realizado recolhimento dos resíduos, e posteriormente o transporte destes aos pontos de tratamento ou disposição final (CUNHA & FILHO, 2002). Um dos aspectos importantes a se destacar da coleta é a possibilidade de ela ser seletiva, de forma que sejam coletados resíduos sólidos previamente segregados conforme sua composição, sendo os mesmos direcionados à reciclagem, ao reuso, ao tratamento ou à disposição final especializada (BRASIL, 2010).

Nos pontos de processamento e recuperação é onde acontece a reciclagem, a compostagem, a incineração ou qualquer processo que vise a diminuição do volume e o reaproveitamento dos resíduos sólidos ou de parte deles (CUNHA & FILHO, 2002). Esta é uma etapa importante que precede a destinação ambientalmente adequada de RSU, respaldada em conceitos da PNRS que estimula a reutilização, a compostagem, a reciclagem e o reaproveitamento energético dos resíduos sólidos.

As estações de transbordo ou de transferência são locais onde os resíduos são acumulados temporariamente antes que veículos de alta capacidade de carga os direcionem até sua disposição final (MANSUR & MONTEIRO, 2001).

A disposição final é a última etapa do gerenciamento de RSU, onde os resíduos não reutilizados, reciclados ou recuperados são estocados em uma localidade ou aterrados. Esta etapa é onde se reúnem os maiores impactos ambientais gerados pelos RSU, uma vez que cerca de 40,5% dos RSU não recebiam a destinação adequada até o ano de 2019, sendo geralmente alocados in natura nos lixões ou em aterros controlados (ABRELPE, 2020).

Segundo a norma brasileira NBR ABNT 8419 (1992), nos aterros sanitários são utilizadas técnicas de disposição de RSU no solo minimizando a área ocupada por estes resíduos. Posteriormente é adicionada uma camada de terra sobre eles ao final de cada jornada de trabalho ou em intervalos menores. A disposição final em aterros sanitários é considerada

como ambientalmente adequada pela PNRS, desde que sejam evitados riscos à saúde, à segurança e ao meio ambiente (BRASIL, 2010).

3.4. Políticas nacionais de Resíduos Sólidos Urbanos

Estima-se que a demanda por melhores maneiras de lidar com os resíduos gerados pela humanidade se deu a partir do momento em que as pessoas começaram a se fixar em localidades específicas, gerando aumento populacional e maior geração de resíduos (PHILIPPI, 1979). No entanto, somente a partir do século XVIII que os problemas ambientais relacionados ao tema começaram a serem percebidos com maior ênfase pela sociedade. Isto se deu em decorrência do maior acúmulo de resíduos gerado pela mudança dos padrões de consumo ocasionados pela revolução industrial (ABREU & PALHARES, 2006).

O tema começou a ser tratado na legislação brasileira a partir da Constituição Federal (1988) que, dentre outras coisas, direcionou aos municípios a responsabilidade da limpeza urbana e conseqüentemente da gestão de resíduos sólidos (REGINATTO et. al., 2019). Ela também estabeleceu conceitos que afetam diretamente o tema, como a equidade intergeracional e a responsabilização do poder público e da coletividade pela preservação do meio ambiente.

A lei de nº 9.605 de 1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, aborda os resíduos sólidos de forma direta, estabelecendo no art. 54 que é crime o “lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos” (BRASIL, 1998).

No dia 5 de janeiro de 2007 foi aprovada a lei de nº 11.445, que dentre outros assuntos, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico no Brasil, conhecida como Política Nacional do Saneamento Básico (PNSB) (BRASIL, 2007). Ela estabelece definições específicas a respeito da limpeza urbana e do manejo de resíduos sólidos, tratando-os como serviços de saneamento a serem prestados pelo poder público de “forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente” (BRASIL, 2007). Vários dos pontos presentes nesta lei foram adicionados posteriormente por leis complementares ou substituídas por legislações mais atuais, como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (BRASIL, 2020). Os principais aspectos sobre resíduos sólidos abordados pela PNSB foram adicionados às leis posteriores com algumas atualizações, em especial na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) sancionada em 2 de agosto de 2010.

A PNRS, aprovada pela lei de nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), é considerada como o principal marco legislativo sobre o tema. Inicialmente, ela conceitua os principais agentes relativos ao tema, reduzindo as ambiguidades antes geradas por diversos entendimentos dissonantes. Ela também é uma lei com grande foco ambiental considerando o resíduo sólido como um bem valorável, estimulando assim o seu reuso e sua reciclagem, além da adoção de práticas sustentáveis de gestão. Na PNRS também é estabelecido a necessidade da gestão integrada e da possibilidade da gestão compartilhada de resíduos sólidos, incluindo nas medidas administrativas os diversos setores da sociedade e possibilitando que municípios menores e/ou mais pobres tenham menores dificuldades em realizar a correta gestão de RSU.

Outro ponto importante da PNRS é a desestimulação do envio de resíduos aos aterros, sendo incentivada a criação e a profissionalização de catadores de materiais recicláveis e as práticas de logística reversa (PEREIRA & SOUZA, 2017). Um dos aspectos que grande repercussão dessa lei foi o prazo para encerramento dos lixões, inicialmente previsto para 2014 e sucessivamente adiado para 2018, 2021 e 2024, demonstrando certa dificuldade na executabilidade de algumas das suas diretrizes (REGINATTO et. al., 2019).

A lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), popularmente conhecida como Novo Marco Legal do Saneamento Básico, foi responsável por atualizar a Política Nacional de Saneamento Básico de 2007. Uma das diferenças entre as legislações anteriores é a inserção dos princípios de prestação regionalizada, que visa obter ganhos de escala e garantir a viabilidade técnica e econômica dos serviços prestados (ABRELPE, 2020). O Novo Marco Legal também estimula a seleção competitiva entre os agentes prestadores de serviço através da proibição dos contratos de programa. Para garantir a universalização e modernização dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, a lei 14.026/2020 determina a cobrança destes serviços pelo prestador ao usuário a partir de taxas, tarifas e outros preços públicos (ABRELPE, 2020).

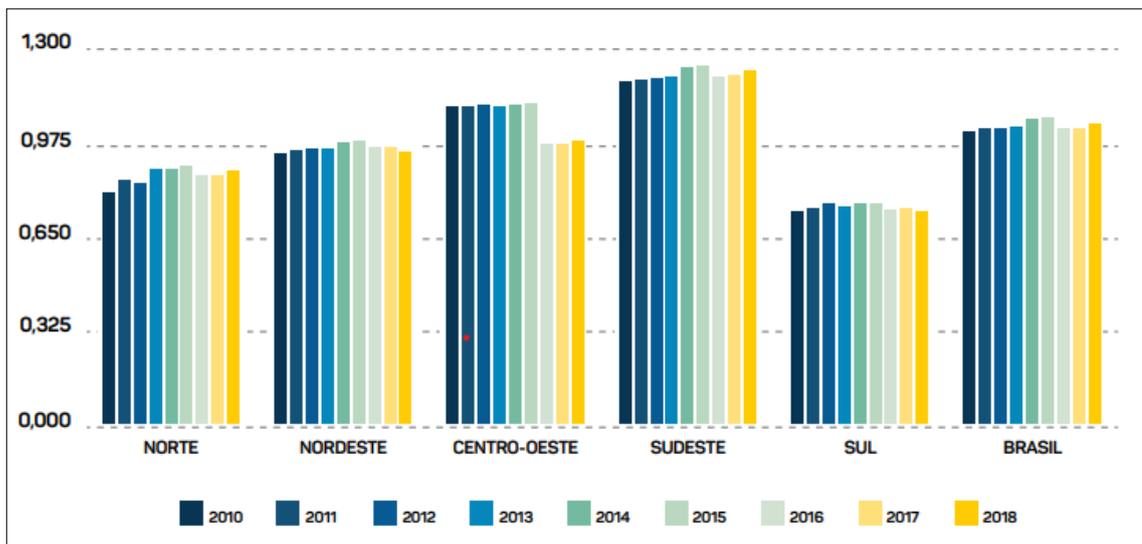
O novo Marco Legal do Saneamento gerou a rejeição inicial de parte da sociedade, das quais se destaca uma carta assinada por 16 governadores que critica a ruptura brusca dos arranjos existentes entre o poder público e empresas estatais, apontando uma possível desestruturação do setor. Leo Heller, relator de Direitos Humanos das Nações Unidas, também alerta que a universalização pode não ser alcançada com a nova lei, podendo aprofundar a desigualdade no país em decorrência da estatização dos serviços de saneamento em cidades pequenas ser uma tendência mundial, dada a dificuldade que possuem em atrair o capital privado (BOCCHIGLIERI & PAGANINI, 2021).

3.5. Diagnóstico de RSU no Brasil

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) é um documento elaborado pela Secretaria de Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente que tem caráter informativo e aborda de forma sintetizada o diagnóstico geral sobre a temática de resíduos sólidos no Brasil. Isto é feito a partir da síntese das informações obtidas por diversas fontes oficiais como a ABRELPE, o SNIS, o IBGE e o IPEA (PLANARES, 2020).

A partir dos dados presentes nos Panoramas dos Resíduos Sólidos no Brasil dos anos de 2010 a 2018, o Planares compilou os dados de a geração per capita por região do país demonstrando uma média nacional que varia entre 0,9 e 1,2 kg/hab./dia, conforme demonstrado no Gráfico 1. Pode-se observar que a região sudeste foi a que mais contribuiu para esta geração, correspondendo a cerca de 50% da geração total do país quando considerada a densidade populacional.

Gráfico 1 - Geração per capita diária de RSU (kg/hab./dia) nas regiões do Brasil de 2010 a 2018.

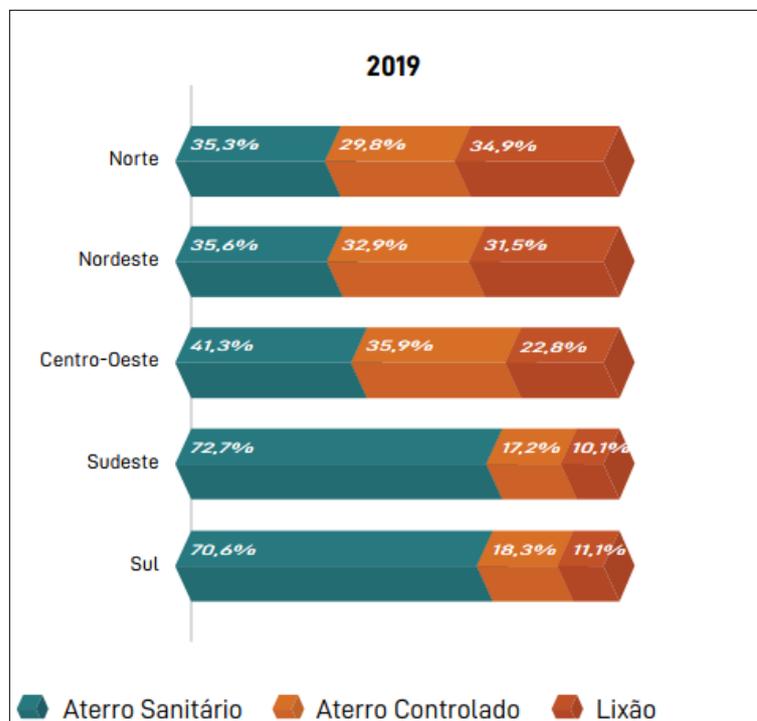


Fonte: PLANARES (2020).

É estimado que a exista coleta para cerca de 80% a 98% dos RSU gerados, com a cobertura dos serviços variando conforme a região analisada. As regiões norte e nordeste apresentaram os menores índices, cerca de 81%. Já as regiões sul e sudeste apresentaram os maiores índices, cerca de 95% e 98% respectivamente (ABRELPE, 2020).

Embora os índices de coleta permaneçam altos esses resíduos são em grande parte destinados aos lixões e aos aterros controlados, principalmente nas regiões norte, nordeste e centro-oeste conforme observado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Destinação final de RSU por regiões no Brasil.



Fonte: ABRELPE (2020)

Segundo a ABRELPE (2020), aproximadamente 73% das cidades brasileiras possuíam coleta seletiva no ano de 2019, um número considerado incipiente frente aos princípios estabelecidos pela PNRS, contribuindo para um aumento na quantidade de resíduos direcionados à disposição final. Esta porcentagem é ainda menor em municípios com menos de 30.000 habitantes, onde cerca de 70% não possuíam coleta seletiva até o ano de 2018 (PLANARES, 2020).

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2020), ao se analisar a evolução do gerenciamento de RSU no país como um todo é possível observar melhorias graduais desde que a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi sancionada. No entanto, alguns princípios estipulados por esta lei se mostram ainda desafiadores. A geração de Resíduos Sólidos Urbanos aumentou em aproximadamente 19% de 2010 a 2020, com um crescimento na taxa de geração per capita de cerca de 9%. Embora os serviços de coleta de RSU tenham aumentado a sua zona de abrangência, aproximadamente 40% destes resíduos seguem para

disposição inadequada, com esta porcentagem ultrapassando 80% em algumas regiões do país. Estima-se que, em decorrência disso, seja gasto cerca de 1 bilhão de dólares por ano com impactos ambientais e à saúde.

3.6. Gestão de RSU em Ouro Preto – MG

O município de Ouro Preto - MG possui dois planos de gerenciamento de RSU. O mais antigo data de 2007 e foi elaborado pela empresa TCA (Tecnologia em Controle Ambiental), que atua no ramo de meio ambiente desde 2001. Este Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (PGIRSU, 2007), dentre outras coisas, realiza um levantamento bibliográfico das informações existentes na literatura da época e estima a geração e a caracterização de RSU a partir delas. Também são realizadas projeções de geração conforme alterações na população flutuante e no crescimento populacional esperado.

De forma geral, este plano apresenta um extenso diagnóstico do município e levanta alguns problemas importantes observados na época que servem de base para compreender o histórico das pendências na gestão de RSU existentes no município. Destacam-se: a disparidade entre o gerenciamento de resíduos efetuado entre os bairros do núcleo histórico e os bairros periféricos; o baixo conhecimento da população sobre as datas e pontos de coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares, explicitando a ineficácia dos mecanismos de educação ambiental; a necessidade de mapeamentos e adição de lixeiras comunitárias; a realização de uma limpeza urbana eficaz somente em épocas de maior atividade turística; o despejo inadequado de Resíduos Sólidos Domiciliares em córregos; a falta de planejamento adequado para recolhimento de entulhos em terrenos baldios; o alto número de locais de disposição final clandestina de Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCC) e RSU; a ausência de coleta seletiva; más condições de trabalho nas áreas triagem de resíduos; falta de verba e acordos financeiros com outras entidades; falta de controle dos resíduos depositados no aterro controlado e fiscalização insuficiente de pessoas e animais que frequentam o local; carência de manutenção nos equipamentos utilizados no aterro.

A partir de 2019 começou a ser publicado o Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS) (2020) do Consórcio Intermunicipal Multissetorial do Vale do Piranga (CIMVALPI), tendo como escopo 41 municípios incluindo Ouro Preto – MG. Este plano foi elaborado em 4 etapas que geraram 10 produtos, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Produtos vinculados a cada uma das etapas do Plano de Trabalho do FIGIRS/CIMVALPI.

Etapa 1	Produto 1: Plano de Mobilização Social e Divulgação;
	Produto 2: Plano de Trabalho para elaboração do FIGIRS/CIMVALPI;
	Produto 3: Relatório da Audiência Pública de Divulgação do Plano de Mobilização Social e Divulgação e o Plano de Trabalho;
Etapa 2	Produto 4: Diagnóstico para Gestão Intermunicipal Consorciada – CIMVALPI (DGIC/CIMVALPI);
	Produto 5: Relatório Consolidado do diagnóstico para a Gestão Intermunicipal, acrescido dos relatórios individuais das quatro oficinas de contribuições ao diagnóstico previstas;
Etapa 3	Produto 6: Mapeamento das Áreas Favoráveis à implantação de Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos – CTRS;
	Produto 7: Relatório de Modelagem para investimentos em equipamentos para tratamento e destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos;
	Produto 8: Relatório de Proposição de Modelo para o Sistema Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos;
Etapa 4	Produto 9: Relatório de Proposições de Metas, Diretrizes e Estratégias para implementação do FIGIRS/CIMVALPI;
	Produto 10: Relatório de Validação do FIGIRS/CIMVALPI, devendo conter em anexo os relatórios individuais das 4 oficinas e da audiência pública previstas.

Fonte: FIGIRS (2020).

O FIGIRS/CIMVALPI apresenta os diagnósticos sobre resíduos sólidos a partir de dados secundários obtidos em revisões bibliográficas, relatórios fornecidos pelos órgãos públicos e pela Fundação GORCEIX, e dados primários obtidos em campo a partir análises quali-quantitativas realizadas em alguns municípios pertencentes ao consórcio. Este plano também realizou um levantamento dos principais problemas observados nos municípios consorciados bem como suas demandas particulares. Posteriormente, foram propostas soluções para alguns dos problemas levantados estipulando metas, diretrizes e estratégias para resolução dos mesmos (FIGIRS,2020a).

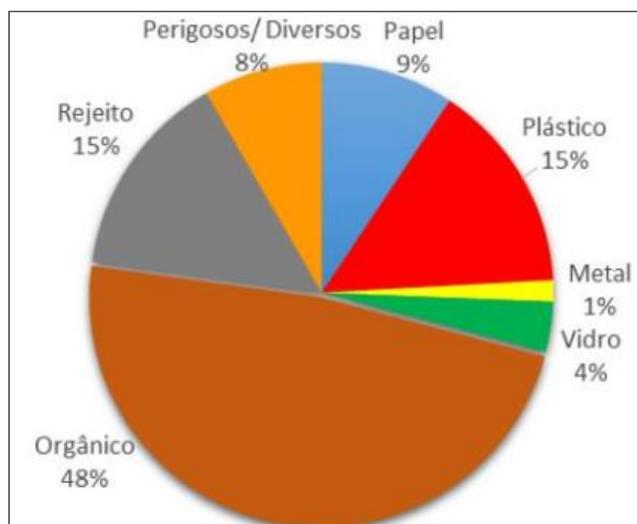
Os estudos realizados em campo pela CIMVALPI abrangeram a gravimetria, a geração per capita e o peso específico dos RSU. As coletas de material foram realizadas em apenas alguns dos municípios consorciados, de forma que os escolhidos representariam os outros municípios com mesma faixa populacional e de Índice Mineiro de Responsabilidade Social (IMRS). No entanto, a pandemia de COVID-19 ocasionou a interrupção das atividades de pesquisa em campo durante a elaboração do FIGIRS. Em decorrência disso, foram usados dados secundários obtidos do Plano de Gestão Integrada de RSU de 2019 realizado pela fundação RENOVA (PMGIRS, 2019) no município de Mariana – MG, sendo estes dados reaproveitados para o município de Ouro Preto – MG (FIGIRS, 2020c).

3.6.1. Geração

A taxa de geração per capita do município de Ouro Preto – MG é de 0,704 kg/hab./dia, resultando em uma geração mensal média de cerca de 1.574 ton./mês em todo município e 887 ton./mês somente na área urbana (PIGIRS, 2020b).

A composição gravimétrica para o município apresentada no PIGIRS/CIMVALPI está expressa na Gráfico 3, tendo-se como referência estudos realizados no município de Mariana-MG no ano de 2019 (PMGIRS, 2019). Ouro Preto-MG e Mariana-MG são municípios semelhantes em alguns aspectos por terem vocação turística, alta população universitária, atividades industriais voltadas à mineração e número de habitantes e IRMS próximos. Logo, o padrão de geração de RSU também é potencialmente similar, sendo admissível a extrapolação dos estudos realizados em Mariana-MG para o município de Ouro Preto-MG.

Gráfico 3 - Composição Gravimétrica do RSU considerada para o município de Ouro Preto – MG.



Fonte: PMGIRS (2019)

3.6.2. Acondicionamento e Coleta

Segundo dados fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente de Ouro Preto e por consultas realizadas com atores envolvidos na gestão de resíduos sólidos do município, a coleta de RSU são realizados pela empresa terceirizada Quantum.

O acondicionamento dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) é realizado em sacolas plásticas e posteriormente direcionados pelos munícipes aos coletores públicos ou privados

presentes nas calçadas das ruas. Após a coleta dos resíduos presentes nestes coletores pela empresa responsável, os RSU são conduzidos diretamente à disposição final. Observa-se em algumas localidades o acondicionamento irregular em ruas, calçadas e becos da cidade, fora dos dias de coleta pré-definidos.

O programa intitulado Ouro Preto Recicla foi desenvolvido em 2017 com o propósito de ofertar a coleta seletiva na área urbana do município. Ela é realizada a partir de uma rota pré-estabelecida disponível no site da prefeitura de Ouro Preto, a partir da parceria entre a prefeitura e duas associações de catadores denominadas Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia (ACMAR) e a Associação de Catadores do Padre Faria (VINÍCIUS, 2019).

3.6.3. Disposição Final

Até a data de publicação deste trabalho, a disposição final dos RSU gerados Ouro Preto - MG era realizada no aterro sanitário de Mariana – MG, em decorrência de uma parceria momentânea feita entre as duas prefeituras envolvidas. O município possuía um aterro próprio próximo ao distrito de Lavras Novas – MG, sendo o mesmo desativado por chegar ao seu limite de operação e não apresentar o controle adequado dos RSU ali dispostos, se apresentando em condições próximas à um lixão. Até a data de divulgação deste trabalho, o município buscava parcerias com outros municípios para direcionamento dos resíduos.

3.7. Uso de geoprocessamento para espacialização de RSU

Segundo Xavier da Silva (2016), o geoprocessamento é considerado um conjunto de métodos, conceitos e técnicas voltados à manipulação de dados ambientais georreferenciados. Este conjunto está associado a uma série de conhecimentos recentes, principalmente o sensoriamento remoto e o processamento de dados. O uso do geoprocessamento se mostra como o facilitador de vários trabalhos de análise e representação da superfície da Terra. Essas representações ou modelos são simplificações da realidade, exigindo recortes espaciais, conceituais, temporais e metodológicos (FURLAN, 2011, p.1).

A classificação dos RSU de acordo com suas fontes de geração e regiões são de suma importância na tomada de decisão no gerenciamento dos resíduos municipais. Técnicas que possam categorizar áreas urbanas bem como associar informações econômicas, culturais e sazonais de forma eficaz aumentam a eficiência do processo técnico que respalda importantes

tomadas de decisão. Neste contexto, o uso de ferramentas com o ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem proporcionar diversas vantagens na gestão dos RSU. Dentre estas, pode-se destacar uma melhora no processo de planejamento e gerenciamento de resíduos de forma mais tecnológica e automatizada (KARADIMAS e LOUMOS, 2008; RADA et al., 2013).

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da Área de Estudo

A cidade de Ouro Preto foi criada após a independência do Brasil, em 1823, sendo a capital da então província de Minas Gerais (BOHRER, 2021). Nesta época, a economia da cidade era voltada à mineração de ouro e diamante, sendo os principais agentes de interiorização e fixação da população na região (CASTRO & PAULA, 2015). Por não apresentar alternativas viáveis ao desenvolvimento físico urbano, a capital de Minas Gerais foi transferida em 1897 para onde hoje se encontra a cidade de Belo Horizonte, a cerca de 90 km de Ouro Preto. Isto ocasionou um esvaziamento econômico e político na região que se estendeu até 1940 com o retorno das atividades minerárias e a implantação de indústrias como a Alcan/SA (OLIVEIRA & SOBREIRA, 2015).

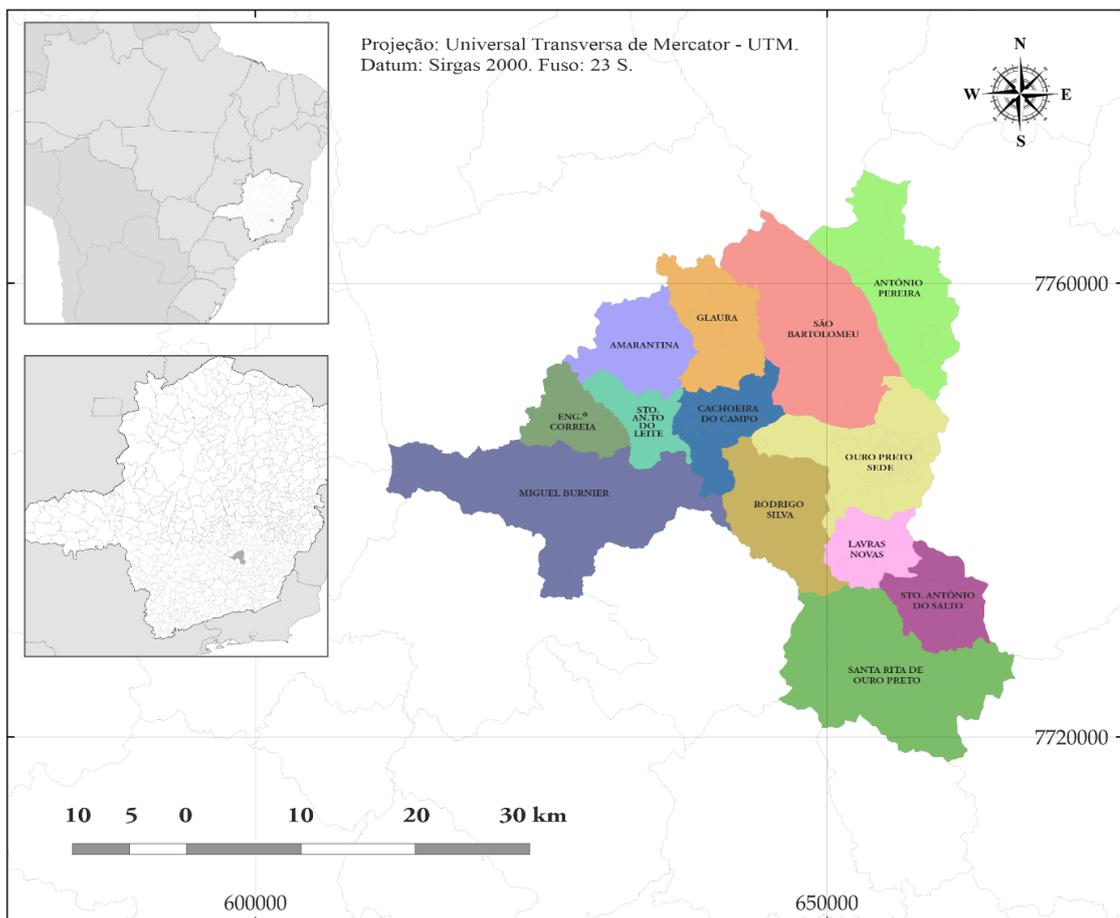
Em função da ocorrência de grande quantidade de fatos históricos no município e da conservação de grande parte de seus monumentos coloniais, Ouro Preto foi elevado a Patrimônio Nacional em 1933 pela instituição que hoje é o IPHAN. Posteriormente, em 1980, o município foi declarado Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO no comitê do Patrimônio Mundial (BOHRER, 2021).

Além da atratividade histórica e da expansão populacional oriunda da mineração, outro fator que impulsionou o crescimento da cidade foi a presença de instituições educacionais, como a Escola de Farmácia, fundada em 1839 e a Escola de Minas, fundada em 1876. Segundo o Relatório de Perfil Socioeconômico de Ouro Preto divulgado pela Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de Minas Gerais (FECOMERCIO) (2020), a indústria continuava sendo a principal contribuição ao PIB da cidade em 2017, sendo responsável por 60,7% do Valor Adicionado (VA). No entanto, o setor de serviços tem apresentado aumento constante em sua contribuição ao PIB, tendo aumentado de 23% em 2011 para 30% em 2017,

indicando a diversificação da economia da cidade em função do setor de turismo e da presença de eventos locais (SOARES, 2019).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2021), o município de Ouro Preto – MG tem uma população estimada de 74.824 pessoas, distribuídas em uma área de 1245,865 km². O município é dividido em cidade sede e mais doze distritos, conforme mostrado na Figura 2, sendo eles: Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Lavras Novas, Miguel Burnier, Rodrigo Silva, Santa Rita de Ouro Preto, Santo Antônio do Leite, Santo Antônio do Salto, São Bartolomeu (AMARAL e LANA, 2017).

Figura 2 - Sede e Distritos de Ouro Preto.



Fonte: Malhas territoriais do IBGE (2021) adaptado por Autor (2022).

A partir da década de 1940 o município de Ouro Preto – MG passou por uma rápida evolução populacional, impulsionadas por pessoas que vinham atraídas pela oferta de empregos na indústria de base local (OLIVEIRA e SOBREIRA, 2015). No entanto, esta expansão não se deu de forma planejada, principalmente na região sede do município, com pendências em infraestrutura e saneamento básico observadas ainda hoje. Durante muito tempo, o aterro do

município encontrava-se inviabilizado em situação equivalente à de um lixão. Atualmente, ainda é possível observar coletores mal dimensionados ou até mesmo ausentes. Os maiores impactos ambientais se concentram nas áreas residenciais de bairros periféricos, onde se concentram a maior parte da população.

Além do município de Ouro Preto - MG demandar por maior eficiência na gestão de resíduos, ele possui especificidades verificadas em poucas regiões por ser uma cidade turística e possuir grandes instituições educacionais, contribuindo para um padrão atípico de geração de Resíduos Sólidos Urbanos. Estas características demandam de uma análise de geração de Resíduos Sólidos Urbanos multicriterial, o que motivou a escolha da sede do município como escopo deste trabalho.

4.2. Elaboração de mapas de geração de RSU através de Geoprocessamento

Para elaboração de mapas setorizados de geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) foi utilizada a metodologia proposta por Gallardo et al. (2014) aplicada à sede do município de Ouro Preto- MG. Esta metodologia pode ser realizada de forma direta ou indireta. Na forma direta, seria necessário realizar a pesagem dos resíduos de cada setor ou bairro da cidade em diferentes épocas do ano. No entanto, conforme os próprios autores pontuam, esta forma dependeria de grande aporte financeiro além de tornar a metodologia muito complexa, podendo inviabilizar a sua aplicação na maioria dos escopos. Sendo assim, neste trabalho foi utilizada a forma indireta. Ela consiste em quantificar e geoespacializar a geração de RSU de uma cidade a partir da análise de dados secundários. Estes dados foram obtidos de banco de dados de acesso livre, como IBGE, SNIS, IDE Sisema, Open Street Maps, My Maps, ABRELPE e de órgãos governamentais como o Governo do Estado de Minas Gerais e da Prefeitura de Ouro Preto.

Nesta etapa, foram levantados dados de setorização da cidade de Ouro Preto – MG (setores censitários, divisão de bairros, etc.), classe social e população de cada setor, índices de desempenho econômico e a localização de grandes geradores de resíduos, constituindo assim, os critérios considerados neste trabalho que influenciarão a quantificação e a setorização da geração de RSU.

A metodologia proposta por Gallardo et. al. (2014) menciona que existe variação na geração de RSU em função das estações do ano, uma vez que em estações mais frias foi observado uma maior geração de cinzas decorrentes de métodos de aquecimento a lenha. Este critério se fez necessário em alguns escopos uma vez que esta metodologia tenha sido

desenvolvida em estudos de caso de cidades europeias, que possuem grande variação climática com mínimas muito baixas. No entanto, este tipo de sistema de aquecimento não é comum no município de Ouro Preto – MG, já que este pertence a um país tropical. Logo, este critério foi removido da metodologia deste trabalho.

A partir das informações levantadas foi possível estabelecer o valor de $TGDm_{i,j}$, que é a taxa de geração per capita diária de RSU em cada bairro (i) tomando como base um determinado mês de referência (j). Ela é calculada pelo produto da taxa de geração per capita média de RSU, representada pelo termo $\frac{TAG}{12xi}$, por coeficientes que variam conforme a renda (C\$), a sazonalidade (CZ) e a atividade econômica (CAE) de cada bairro da cidade, conforme descrito pela Equação 1.

$$TGDm_{i,j} = \frac{TAG}{12xi} * (C\$ * CAE * CZ) \quad (\text{Eq. 1})$$

O termo “12xi” corresponde ao número de dias do ano tomando como base o número de dias de um determinado mês de referência. Ao calcular o TDG de fevereiro por exemplo, a variável xi equivale a 28 dias, portanto, o termo “12xi” equivale a 336 dias. Esta ponderação é necessária em função do TGD ser calculado tendo-se como base a taxa de geração per capita anual (TAG).

A setorização da geração de RSU por bairros foi escolhida de forma a facilitar a compreensão dos resultados obtidos e o levantamento de dados espacializados, já que esta divisão já é adotada pelas fontes de dados utilizados para este trabalho. Vale ressaltar, no entanto, que esta metodologia pode ser adotada em diferentes tipos de agrupamentos espaciais e temporais.

Os tópicos seguintes abordarão como foram obtidos os dados que embasaram a definição de cada coeficiente utilizado na Equação 1.

4.2.1. Taxa Anual de Geração Per Capta (TAG)

A taxa anual de geração per capita corresponde a um valor médio da geração de Resíduos Sólidos Urbanos por habitante em um ano, ou seja, a taxa de geração per capita diária multiplicada por 365 dias.

O Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil (ABRELPE 2020) expõe um valor médio de geração per capita diária de 1,2 kg/hab.dia para a região sudeste, a maior taxa dentre as

diferentes regiões do Brasil. Este dado corresponde a uma média que engloba diferentes estados e municípios, podendo se afastar da realidade de alguma localidade específica.

Com base em estudos realizados pela FEAM no ano de 2017, o Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais (PESBMG, 2021) estima uma geração de Resíduos Sólidos Urbanos diária no estado de 0,61 a 0,70 kg/hab., tendo como referência o ano de 2020.

Neste trabalho, no entanto, foi utilizado a taxa de geração per capita adotada no Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS, 2020), que se baseia nos dados fornecidos pela própria prefeitura de Ouro Preto – MG obtidos através de pesagens realizadas em 2019, estipulando uma geração diária de resíduos sólidos de 0,703 kg por habitante, valor similar ao estimado pelo Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais. Desta forma, a Taxa Anual de Geração Per Capta (TAG) pode ser definida conforme a Equação 2, resultando em um valor de 256,595 kg.hab⁻¹.

$$TAG = n^{\circ} \text{dias do ano} * \text{taxa de geração per capita diária} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$TAG = 365 \text{ dias} * 0,703 \frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{dia}} = 256,595 \frac{\text{kg}}{\text{hab}}$$

4.2.2. Renda

Um dos critérios a ser utilizado na metodologia de Gallardo et. al. (2014) é a influência da renda em cada setor analisado. Como a setorização escolhida neste trabalho foi a divisão por bairros, foi necessário estimar a classe social de cada bairro de Ouro Preto – MG. As bases de dados governamentais não dispunham de dados setorizados atualizados até a data de elaboração deste trabalho, sendo que o censo mais recente do IBGE ao abordar o tema é datado do ano 2000. Assim, para a realização da classificação social foi utilizada a valorização imobiliária, sendo este um parâmetro influenciado pela classe social dos moradores de cada bairro. Esta classificação foi realizada para este trabalho pela empresa “Imobiliária Ouro Preto”, que atua no município há mais de 20 anos. Ela classificou os bairros com base em parâmetros indiretos como qualidade das construções civis e a valorização dos imóveis e terrenos.

A classificação por este método pode apresentar algumas incoerências decorrentes de valorização imobiliária repentina, diversidade de valores imobiliários dentro em um mesmo bairro, locação de imóveis de alto valor por pessoas de classes sociais mais baixas e gentrificação de setores com alto índice de população local, situações comuns no município de

Ouro Preto - MG. Para corrigir algumas dessas inconsistências, seria necessária uma classificação que englobasse áreas menores da cidade como ruas, agrupamentos de casas ou quarteirões, no entanto, isto tornaria a metodologia extremamente complexa, diminuindo sua aplicabilidade e reprodutibilidade. A forma adotada para diminuir as inconsistências citadas foi solicitar uma verificação e calibração dos dados fornecidos pela imobiliária por moradores que residem na cidade a mais de 20 anos. Contudo, a classificação final em pouco se alterou ao se comparar com a classificação realizada pela imobiliária.

Para associar a classe social dos bairros à geração de resíduos sólidos foi preciso recorrer a referenciais teóricos, em especial o artigo técnico chamado “Modelo para estimativa da geração de Resíduos Sólidos Domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais” (DIAS et al., 2012). Este artigo apresenta um modelo matemático que estima a taxa de geração per capita de Resíduos Sólidos Domiciliares a partir da regressão linear de amostras de resíduos coletadas em campo. Esta coleta foi realizada em bairros com renda per capita conhecida, estabelecendo assim, uma relação entre renda e geração de resíduos sólidos. A Equação 3 representa a regressão linear obtida no estudo, possuindo um coeficiente de determinação (R^2) de 0,8525.

$$Y = - 0,00000005 x^2 + 0,0006 x + 0,2848 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Y = Geração diária de Resíduos Sólidos Domiciliares per capita (kg/hab. dia);

x = Renda per capita mensal (R\$/mês).

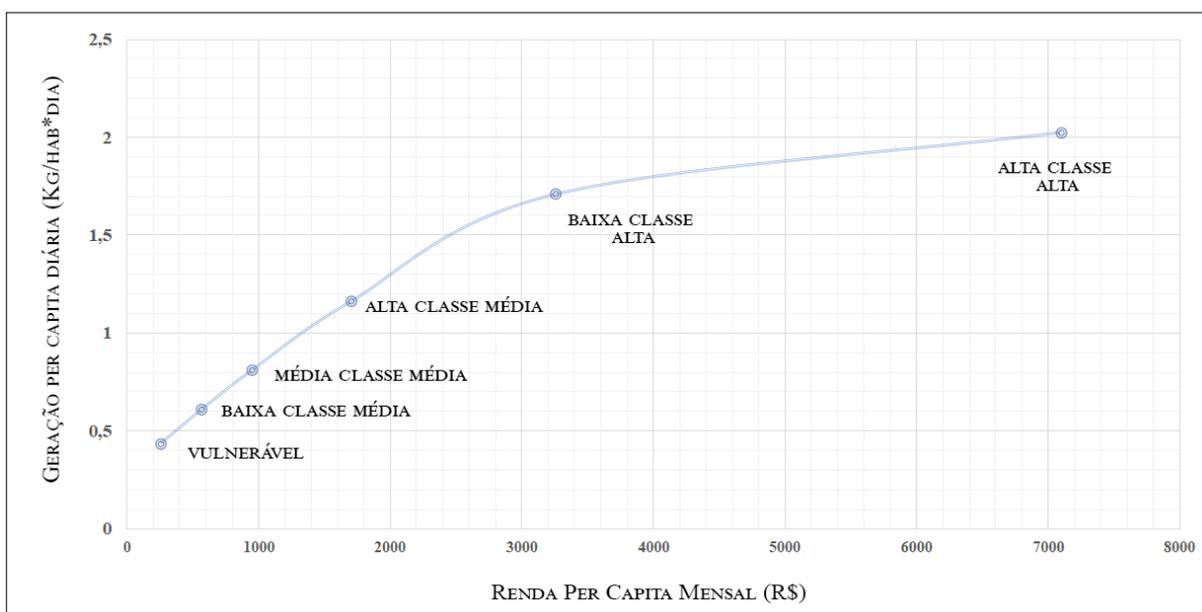
É preciso ressaltar que o trabalho mencionado foi realizado em Belo Horizonte – MG e validado em outras capitais do país, demonstrando assim, uma tendência de geração de resíduos de regiões metropolitanas e não de cidades menores como Ouro Preto – MG. Ainda assim, o modelo foi aplicado neste trabalho por se tratar de uma comparação entre variáveis para determinação de um coeficiente adimensional que representa um padrão de geração de resíduos, sendo desejável obter a diferenciação da geração de resíduos entre diferentes padrões de renda.

Este modelo utiliza dados obtidos de áreas residenciais do escopo, incluindo somente Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD). Logo, os resíduos provenientes de limpeza urbana (RSLU) foram somados aos valores obtidos por este modelo. Como o município de Ouro Preto-MG não coletava e pesava os RSLU de forma individual até a data de elaboração deste trabalho, foi necessário utilizar a proporção de RSLU gerado em Mariana – MG, município vizinho com

características semelhantes a Ouro Preto-MG. Assim, com base nos dados fornecidos pelo Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS, 2020), foi somado o valor correspondente ao RSLU gerado na cidade de 0,04 kg/hab.dia à taxa de geração de Resíduos Sólidos Domiciliares (Y) obtido pela Equação 3.

A classificação social adotada foi associada à renda per capita mensal conforme o Critério de Classificação Econômica do Brasil (CCEB) elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP, 2019). Posteriormente, foi realizada a substituição da renda mensal per capita na Equação 3, obtendo-se o valor aproximado da produção diária de resíduos sólidos por habitante, conforme gráfico expresso na Gráfico 4.

Gráfico 4 - Geração Per Capita Diária de RSD x Renda Per Capita Mensal.



Fonte: Autor (2022).

A nomenclatura das classes sociais adotados pela ABEP utiliza-se de letras que representam intervalos que quantificam quantos salários mínimos uma residência recebe, alternando entre A, B1, B2, C1, C2, DE conforme a renda vai diminuindo. Esta nomenclatura foi trocada para o modelo de classificação social da SAE, que estabelece o mesmo intervalo da classificação da ABEP, mas trocam as letras pelas classificações descritivas vistas no Gráfico 4. É importante ressaltar que estas classificações consideram residências, tendo os valores de renda sido dividido por 3,2 (média de moradores em uma residência) para se obter a renda per capita mensal.

A Tabela 2 expressa o quadro resumo incluindo a classificação social de cada bairro estipulado pela Imobiliária Ouro Preto e a geração per capita calculada a partir do modelo apresentado na Equação 3.

Tabela 2 - Classe social e TGD dos bairros de Ouro Preto - MG.

Bairro	Classe Social	Taxa de Geração Diária Per Capita
Água Limpa	Alta Classe Média	1,1
Alto da Cruz	Alta Classe Média	1,1
Antônio Dias	Alta Classe Média	1,1
Bairro da Lagoa	Média Classe Média	0,8
Barra	Alta Classe Média	1,1
Bauxita	Baixa Classe Alta	1,7
Cabeças	Alta Classe Média	1,1
Centro	Baixa Classe Alta	1,7
Dores	Média Classe Média	0,8
Jardim Alvorada	Baixa Classe Alta	1,7
Lagoa	Média Classe Média	0,8
Maria Soares	Média Classe Média	0,8
Morro da Queimada	Baixa Classe Média	0,6
Morro do Cruzeiro	Baixa Classe Alta	1,7
Morro Santana	Baixa Classe Média	0,6
Morro São João	Média Classe Média	0,8
Morro São Sebastião	Média Classe Média	0,8
Novo Horizonte	Alta Classe Média	1,1
Nsa. Sra. de Lourdes	Baixa Classe Alta	1,7
Nsa. Sra. do Carmo	Média Classe Média	0,8
Padre Faria	Média Classe Média	0,8
Passa Dez de Baixo	Alta Classe Média	1,1
Passa Dez de Cima	Alta Classe Média	1,1
Piedade	Baixa Classe Média	0,6
Pilar	Alta Classe Média	1,1
Pocinho	Baixa Classe Média	0,6
Rosário	Alta Classe Média	1,1
Santa Cruz	Baixa Classe Média	0,6
São Cristóvão	Baixa Classe Média	0,6
São Francisco	Baixa Classe Média	0,6
Saramenha	Baixa Classe Média	0,6
Taquaral	Baixa Classe Média	0,6
Tavares	Média Classe Média	0,8
Vila Aparecida	Média Classe Média	0,8
Vila dos Engenheiros	Baixa Classe Alta	1,7
Vila Operária	Baixa Classe Média	0,6
Vila São José	Alta Classe Média	1,1
Vila Sta. Isabel	Baixa Classe Média	0,6
	Média	1,0

Fonte: Autor (2022).

4.2.3. Atividade Econômica

Sendo Ouro Preto uma cidade histórica e universitária, é esperado que ela possua uma grande quantidade de estabelecimentos comerciais que geram mais Resíduos Sólidos Urbanos que residências normais, como hotéis, pousadas, restaurantes, lanchonetes, padarias e supermercados.

Para análise da atividade econômica setorializada do município de Ouro Preto – MG foi levantada a quantidade e o porte dos estabelecimentos comerciais contidos em cada bairro. A identificação destes estabelecimentos foi realizada através da plataforma *My Maps* do Google. Ela é uma plataforma simplificada de geoprocessamento para criação e compartilhamento de mapas, com o diferencial de possuir de forma vetorizada, a localização e a tipologia de todos os estabelecimentos cadastrados no Google Maps. Embora o banco de dados do Google Maps não seja uma fonte de dados revisada por nenhuma instituição de cunho científico, o fato dos próprios comerciantes adicionarem a localização e o nome de seus estabelecimentos, faz com que esta fonte seja uma das mais completas e atualizadas no que tange a empreendimentos de médio e grande porte. Foi possível constatar em campo que mesmo os estabelecimentos que fecharam e não foram atualizados na plataforma, foram substituídos por outros de porte e categoria semelhante, diminuindo o erro temporal. Por precaução, os poucos estabelecimentos que não possuíam fachadas para a rua, de forma a não se ter certeza da existência do mesmo, foram removidos deste trabalho. Também se observou que alguns estabelecimentos pequenos, como os botecos e pequenas mercearias, não estavam todos cadastrados no Google Maps e conseqüentemente ficaram de fora desta pesquisa.

Todos os empreendimentos foram classificados conforme sua categoria, dado que a geração de RSU não se dá de forma homogênea por todos os estabelecimentos. A classificação adotada foi realizada conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação por porte dos estabelecimentos comerciais.

Porte	Estabelecimentos Comerciais
Grande	Mercados, restaurantes, hotéis e pousadas.
Médio	Grandes bares, grandes lanchonetes e padarias.
Pequeno	Cafés, sorveterias, pequenas lanchonetes e pequenos bares.

Fonte: Autor (2022).

Nesta etapa, também foram consideradas as repúblicas estudantis, já que elas realizam uma parte considerável dos eventos da cidade, sendo os resíduos ali gerados, gerenciados como

RSU. Como existem repúblicas de diversos tamanhos é esperado que repúblicas apresentem diferentes taxas de geração de RSU. Logo, foi realizada uma classificação conforme o porte de cada república, considerando o número de pavimentos e quartos de cada casa. As informações relativas a cada república foram extraídas de fontes diversas, como pesquisas nos perfis sociais das próprias repúblicas, sites próprios e entrevistas aos moradores e/ou frequentadores das casas. Foi estudado formas de calibrar estes dados através de pesquisa com diversos estudantes universitários para corrigir exceções como repúblicas que produzem mais resíduos sólidos pelo fato de realizarem mais eventos, embora sejam de pequeno porte. No entanto, nesta fase de calibração, observou-se resultados com um recorte temporal muito curto e com alto grau de subjetividade. Decidiu-se então ignorar o número de eventos que a maioria das repúblicas organizam, de forma a considerar que a relação entre o porte dos eventos, o porte da república e a geração de RSU seja diretamente proporcional. A classificação adotada está expressa no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação por porte das repúblicas de Ouro Preto-MG.

Nome	Porte	Nome	Porte
Alojamento estudantil - UFOP	Grande	República Maktub	Pequeno
Associação República Necrotério	Pequeno	República Malagueta	Pequeno
Associação República Sparta	Grande	República Manicômio	Grande
Associação República Tigrada	Pequeno	República Maracangalha	Grande
Casa do Vira Saia	Médio	República Maria Maria	Grande
Copo Sujo	Pequeno	República Marragolo	Grande
Nômades	Pequeno	República Masmorra	Pequeno
República 100 Juízo	Grande	República Mata Virgem	Pequeno
República 171 Feminina	Médio	República Maternidade	Grande
Republica 4 Doses	Médio	República Melindrosa	Grande
República Acrópole	Grande	República Minas das Minas	Pequeno
República Adega	Médio	República Mistura Perfeita	Pequeno
República Alforria	Grande	Republica Móicana	Médio
República Aquarius	Grande	República Nadavê	Pequeno
República Arca de Noé	Grande	República Nau Sem Rumo	Grande
República Arcádia	Grande	República Navio Pirata	Médio
República Área 51	Médio	República Ninho do Amor	Grande
República Artigo de Luxo	Médio	República Nós é Nós	Pequeno
República Aruanda	Grande	República Notre Dame	Médio
República As Filhas da Pauta	Pequeno	República Ohana	Grande
República Babilônia	Pequeno	República Oito e Oitenta	Grande
República Badalação	Pequeno	República Olympo	Grande
Republica Bangalô	Grande	República OsBartira	Pequeno
República Barraca Armada	Pequeno	República OxiGênios	Pequeno
República BatCaverna	Pequeno	República Paraíso	Grande
República Baviera	Grande	República Partenon de Ouro Preto	Grande
República Beijinho Doce	Médio	República Pasárgada	Pequeno
República Bem-me-Quer	Médio	República Patotinha	Grande

República Bem-te-vi	Pequeno	República Peça Rara	Grande
República Bico Doce	Pequeno	República Penélope	Pequeno
República Birinaite	Médio	República Penitenciária	Grande
República Bombocado	Médio	República Peripatus	Pequeno
República Butantan	Pequeno	República Poleiro dos Anjos	Grande
República Cafofo	Médio	República Pronto Socorro	Pequeno
República Caixotinho	Pequeno	República Província	Pequeno
República Canil	Grande	República Pulgatório	Grande
República Carpe Diem	Pequeno	República quase sem querer	Pequeno
República Casaca	Médio	República Querubim	Pequeno
República Casanova	Grande	República Quinta Negra	Grande
República Cassino	Grande	República Quitandinha	Médio
República Castelo dos Nobres	Grande	República Rebenta	Médio
República Caverna	Grande	República Rebu	Grande
República Chaparral	Médio	República Refugiados	Grande
República Chocolate com Pimenta	Pequeno	República Saia Justa	Pequeno
República Confraria	Pequeno	República Saideira	Grande
República Consulado	Médio	República Samu	Médio
República Convento	Médio	República Santuário	Grande
República Copo Sujo	Médio	República Saudade da Mamãe	Pequeno
República Cosa Nostra	Grande	República Seleta	Médio
República Cravo e Canela	Médio	República Sem Destino	Grande
República DeltaDado	Médio	República Sem Norte	Médio
República Desapego	Grande	República Serigy	Médio
República Diretoria	Médio	República Sete Pragas	Médio
República DNA	Médio	República Sintonia	Pequeno
República Doce Mistura	Médio	República Só a Gente	Médio
República Dominakana	Pequeno	República Sonogada	Grande
República dos Deuses	Grande	República Sonhos	Médio
República Drosófila	Pequeno	República Sua Mãe	Grande
República Favela	Pequeno	República Tan Tan	Médio
República Feitiço	Médio	República Tanto Faz	Grande
República FG	Médio	República Tarja Preta	Grande
República Gandaia	Médio	República Taturrodano	Grande
República Girassol	Médio	República Território Xavante	Grande
República Harém	Médio	República Tira-Burka	Médio
República Hospício - LPS	Grande	República Tôa Tôa	Médio
República Imprevisto	Pequeno	República Toda Menina	Pequeno
República Indiscreta	Pequeno	República Tomara Ki Caia	Pequeno
República Jardim de Alá	Grande	República Trem de Doido	Médio
República Jóia Rara	Pequeno	República Tróia	Grande
República Joselitas	Médio	República UaiMano	Pequeno
República Kaos	Pequeno	República Unidos Por Acaso	Médio
República Katapulta	Grande	República Utopia	Médio
República Kome Keto	Médio	República Vaticano	Grande
República K-Zona	Pequeno	República Vende-se	Médio
República Lisbella	Pequeno	República Venustas	Pequeno
República Loucamente	Pequeno	República Verdes Mares	Médio
República Lua Azul	Médio	República Volkana	Grande
República Lumiar	Pequeno	República Xamego	Grande
República Lunáticos	Pequeno	República Xequê-Mate	Grande
República Maizona	Pequeno	Taranóia República	Médio

Fonte: Autor (2022).

Foi necessário unir a classificação do porte dos pontos comerciais e das repúblicas de cada bairro da cidade. Esta união tomou-se por base no trabalho de Pereira (2019) que contabilizava os resíduos recicláveis em repúblicas estudantis de Ouro Preto - MG. Este trabalho demonstrou que a quantidade de resíduos recicláveis variava entre aproximadamente 0,03 a 1,4 kg por dia e que o número de moradores de cada casa não foi o único critério que influenciou a geração destes resíduos. Dentre as hipóteses levantadas pelo autor para explicar o que poderia estar influenciando a geração de resíduos, destacam-se a classe social dos moradores, a socialização entre as repúblicas, a realização de eventos e a colaboração para a pesquisa.

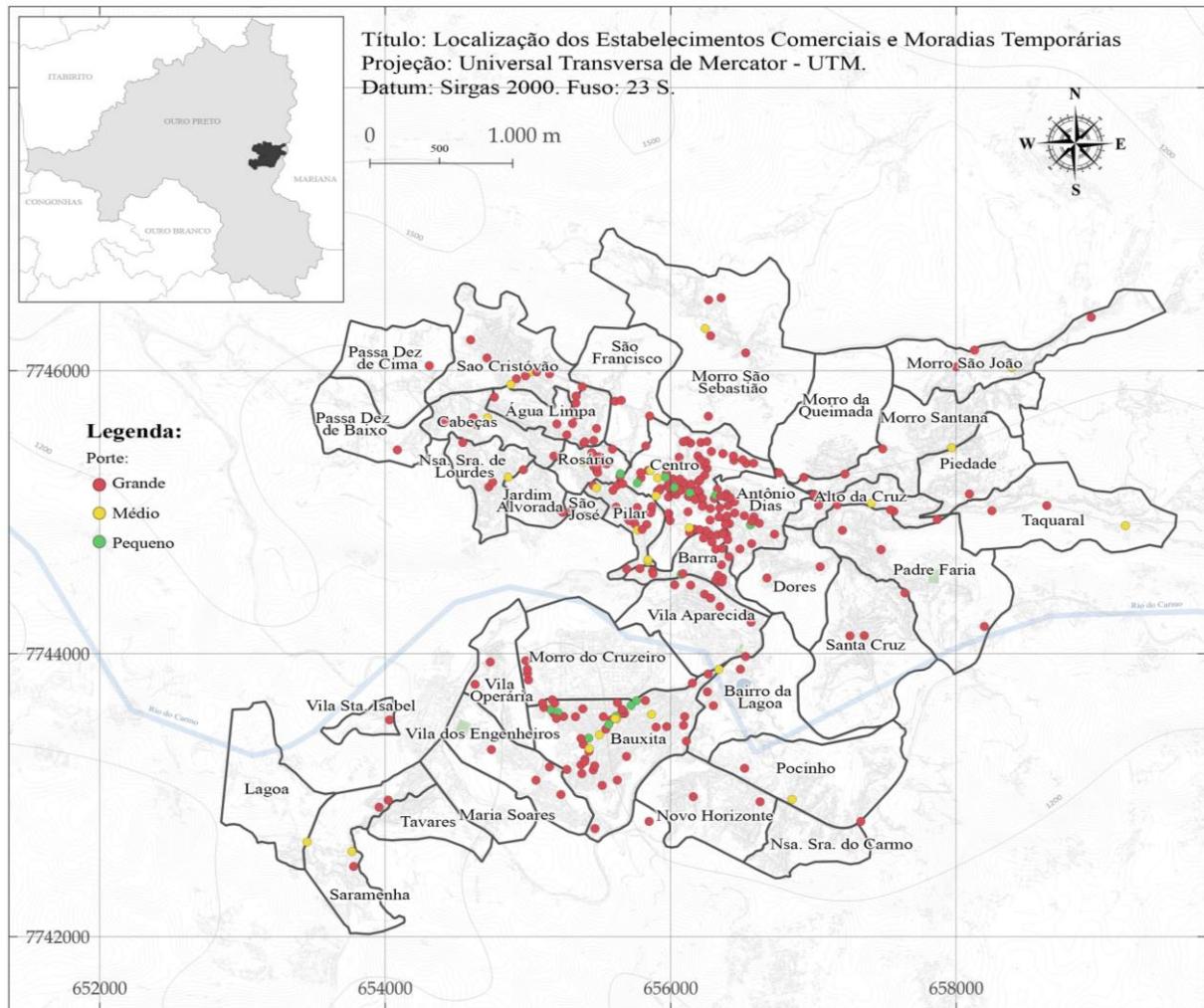
A média de geração de resíduos recicláveis nas repúblicas de até médio porte raramente ultrapassou 1 kg por dia. Para inferir sobre a quantidade de RSU gerado a partir da quantidade de Resíduos Sólidos Recicláveis, foi considerada a gravimetria presente no último plano de gerenciamento de resíduos sólidos publicado até a data deste trabalho, que tinha como escopo o consórcio de municípios que Ouro Preto faz parte (PIGIRS, 2019). Segundo este plano, a geração de recicláveis corresponde a 29 % da geração total de resíduos da cidade, podendo-se estimar assim, uma geração média de RSU de até 3,5 kg por dia para uma república de pequeno a médio porte. Este valor se aproxima da quantidade de resíduos de uma casa comum de mesmas dimensões, não sendo necessário enquadrá-las como estabelecimentos com alto potencial de geração de resíduos.

Desta forma, nesta etapa do trabalho, foram consideradas apenas as repúblicas de grande porte, já que possuem um potencial de geração de RSU próximo ao de um estabelecimento de médio porte, cerca de 15 kg por dia, como uma lanchonete ou uma padaria (PASSINI ET. AL, 2020).

Os estabelecimentos comerciais que geram quantidades de RSU com média acima de 70 kg por dia foram desconsiderados deste trabalho por se tratar de grandes empresas, supermercados e restaurantes que devem destinar o próprio resíduo por serem classificados como grandes geradores. Estabelecimentos e repúblicas que gerem menos de 10 kg por dia, também foram desconsiderados, por apresentarem uma taxa de geração de RSU próxima à de residências comuns.

A Figura 3 mostra a localização e a classificação segundo o porte de todos os estabelecimentos comerciais e repúblicas consideradas nesta etapa.

Figura 3 - Estabelecimentos comerciais classificados conforme o porte.



Fonte: Autor (2022).

Para estabelecer uma grandeza quantitativa unificada que pudesse ser associada posteriormente ao Coeficiente de Atividade Econômica (CAE) foi estimada a média de geração de resíduos de cada porte de estabelecimento com base em dados presentes na literatura (FERNANDES & FARIA, 2015; BORBA D.W. et al, 2020; SCHRÖDER T.N. et al., 2020; PEREIRA, C. I., 2019), como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de RSU conforme porte dos estabelecimentos comerciais.

Porte	RSU gerado (kg/dia)	RSU Média (kg/dia)
Desconsiderado	> 70	-
Grande	50-70	60
Médio	30-50	40
Pequeno	10-30	20
Desconsiderado	< 10	-

Fonte: Autor (2022).

A quantidade de RSU médio gerado por cada bairro foi calculado com base na contagem do número de estabelecimentos e repúblicas de cada porte pertencentes a cada bairro da sede de Ouro Preto – MG, conforme Equação 4. Os resultados estão expressos na Tabela 5.

$$\text{RSU Médio (Ativ. Econômica)} = \left(60 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} * \text{ngp} + 40 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} * \text{nmp} + 20 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} * \text{npp}\right) * 30 \text{ dias}$$

(Eq. 4)

Onde:

ngp = número de estabelecimentos de grande porte;

nmp = número de estabelecimentos de médio porte;

npp = número de estabelecimentos de pequeno porte.

Tabela 5 - RSU médio mensal por porte de estabelecimentos comerciais.

Bairro	Número de Estabelecimentos:			RSU Médio (kg/mês)
	Pequeno Porte	Médio Porte	Grande Porte	
Água Limpa	0	1	11	21000
Alto da Cruz	0	2	6	13200
Antônio Dias	1	9	15	38400
Bairro da Lagoa	0	0	3	5400
Barra	1	1	12	23400
Bauxita	7	15	30	76200
Cabeças	0	1	6	12000
Centro	5	23	53	126000
Dores	0	0	2	3600
Jardim Alvorada	0	0	3	5400
Lagoa	2	0	0	1200
Maria Soares	0	0	0	0
Morro da Queimada	2	0	0	1200
Morro do Cruzeiro	0	4	5	6600
Morro Santana	0	1	3	6600
Morro São João	0	1	3	6600
Morro São Sebastião	0	1	5	10200
Novo Horizonte	0	0	2	3600
Nsa. Sra. de Lourdes	0	1	4	8400
Nsa. Sra. do Carmo	2	0	1	3000
Padre Faria	1	0	3	6000
Passa Dez de Baixo	1	0	1	2400
Passa Dez de Cima	0	0	1	1800
Piedade	1	0	1	2400
Pilar	1	9	9	27600
Pocinho	0	1	1	3000
Rosário	0	6	8	21600
Santa Cruz	3	0	3	7200
São Cristóvão	0	2	7	15000
São Francisco	3	0	3	7200
Saramenha	0	2	3	7800
Taquaral	0	1	2	4800

Tavares	3	0	0	1800
Vila Aparecida	0	3	6	14400
Vila dos Engenheiros	0	2	2	6000
Vila Operária	0	0	2	3600
Vila São José	0	0	1	1800
Vila Sta. Isabel	0	0	1	1800
Total				515400

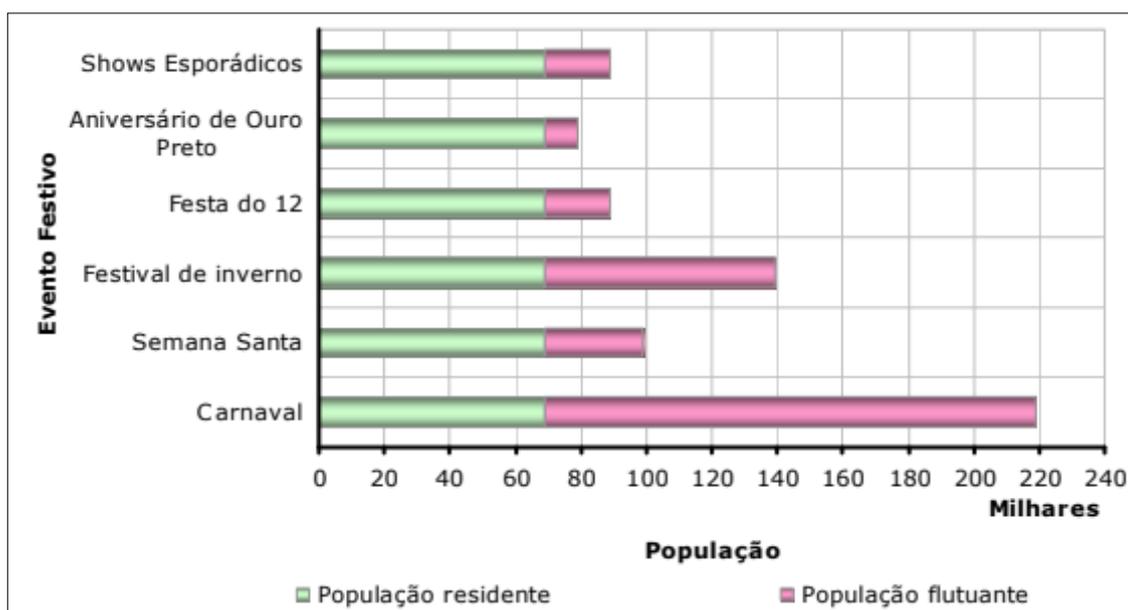
Fonte: Autor (2022)

4.2.4. Sazonalidade

O critério de sazonalidade permite que seja feita a comparação da geração de RSU em cada bairro em diferentes épocas do ano conforme a cidade recebe turistas. Este é um critério importante a ser analisado em municípios como Ouro Preto-MG que possuam vocação turística e universitária, apresentando uma alta taxa de população flutuante durante o ano.

Segundo o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos de Ouro Preto (2006), as festividades que geram maior população flutuante ocorrem no período do Carnaval, atraindo um público de aproximadamente 150.000 pessoas em cinco dias de festa. Outros eventos que atraem maior população flutuante são o Festival de Inverno, a Semana Santa, a Festa dos 12, Shows Esporádicos e o Aniversário de Ouro Preto. A comparação entre a população residente e a população flutuante da cidade está expressa no Gráfico 5.

Gráfico 5 - População flutuante em função dos eventos festivos.



Fonte: PGIRSU (2007).

Com estas informações foi possível estabelecer que os meses de fevereiro, abril, julho e outubro, apresentam maior geração de resíduos em decorrência da presença de grandes eventos, sendo estes o carnaval, a semana santa, o festival de inverno, e a festa dos 12, respectivamente. Os Shows Esporádicos apresentados no Gráfico 5 foram ignorados, dado que não foi possível estabelecer a data em que eles acontecem.

Ressalta-se que existe uma população no município composta por cerca de 2000 turistas e de 7000 estudantes que flutua uniformemente no decorrer do ano que, embora não seja contabilizada no censo demográfico do IBGE, interferiu nas pesagens de resíduos sólidos realizadas em campo, já estando incluída no valor de TAG e conseqüentemente a TGD obtidas pela Equação 1. Assim, para que fosse quantificado apenas o RSU afetado pela sazonalidade, foi considerada somente a população flutuante atraída pelos grandes eventos mencionados neste tópico.

Para determinar quais bairros seriam afetados pela geração de RSU em função da sazonalidade, foi preciso analisar as particularidades de cada evento. O carnaval acontece no centro histórico da cidade e em repúblicas pontuais espalhadas pela cidade. Os blocos de carnaval também utilizam o estádio Raimundo Campos Machado para realização de shows privados no bairro Bauxita. A Festa dos 12, por se tratar de um evento majoritariamente frequentado por estudantes, ocorre nas regiões onde as repúblicas de maior porte estão concentradas, ou seja, na área central da cidade e nas proximidades da Universidade Federal de

Ouro Preto. Os demais eventos, acontecem todos no centro histórico de Ouro Preto – MG, sendo o aniversário da cidade e o Festival de Inverno comemorado na Praça Tiradentes e em suas imediações.

Desta forma é possível estabelecer que a população flutuante fica alocada principalmente nos bairros Centro, Antônio Dias, Pilar, Bauxita, Rosário e Água Limpa, sendo possível inferir como esta população se distribui através da localização dos hotéis, pousadas e repúblicas presentes na cidade, obtida como descrito no tópico “4.2.3 Atividade Econômica”.

Assim, a população flutuante de cada mês foi distribuída proporcionalmente aos bairros com maior número de moradias temporárias conforme expresso Tabela 6. No mês de outubro só foram consideradas as repúblicas estudantis como moradia temporária, uma vez que se trata de um evento majoritariamente universitário.

Tabela 6 - Distribuição da população flutuante de Ouro Preto - MG

Bairros	População Flutuante (pessoas)			
	Fevereiro/ março	Abril	Julho	Outubro
Água Limpa	8882	1667	4444	1028
Alto da Cruz	1974	667	1778	561
Antônio Dias	17763	3667	9778	1402
Bairro da Lagoa	1974	667	1778	280
Barra	5921	1667	4444	1121
Bauxita	11842	1000	2667	2804
Cabeças	2961	1000	2667	561
Centro	51316	10667	28444	4953
Dores	1974	667	1778	187
Jardim Alvorada	0	0	0	280
Lagoa	0	0	0	0
Maria Soares	0	0	0	0
Morro da Queimada	0	0	0	0
Morro do Cruzeiro	3947	0	0	93
Morro Santana	0	0	0	280
Morro São João	987	333	889	280
Morro São Sebastião	1974	667	1778	467
Novo Horizonte	1974	667	1778	187
Nsa. Sra. de Lourdes	1974	667	1778	374
Nsa. Sra. do Carmo	987	333	889	93
Padre Faria	987	333	889	280
Passa Dez de Baixo	0	333	889	93
Passa Dez de Cima	987	333	889	93
Piedade	0	0	0	93
Pilar	8882	1000	2667	841
Pocinho	0	0	0	93
Rosário	8882	1333	3556	748
Santa Cruz	0	0	0	280
São Cristóvão	2961	1000	2667	654

São Francisco	2961	1000	2667	280
Saramenha	0	0	0	280
Taquaral	0	0	0	187
Tavares	0	0	0	0
Vila Aparecida	3947	333	889	561
Vila dos Engenheiros	2961	0	0	187
Vila Operária	0	0	0	187
Vila São José	987	0	0	93
Vila Sta. Isabel	0	0	0	93
Total	150000	30000	80000	20000

Fonte: Autor (2022)

Para quantificar o RSU gerado pela população flutuante, foi considerado o número de pessoas atraídas pelos eventos e a duração destes eventos em dias. Considerando que cada pessoa gera uma média de 0,703 kg/dia, é possível obter a geração mensal de RSU multiplicando a população pelo número de dias de evento e pela geração per capita, alcançando os resultados da Tabela 7.

Tabela 7 - Geração de RSU pela população flutuante de Ouro Preto - MG.

Mês	População flutuante	Nº de dias	Geração Per Capita (kg/hab./dia)	RSU Mensal (kg)
janeiro	0	0	0,703	0
fevereiro	150000	6	0,703	632700
março	0	0	0,703	0
abril	20000	4	0,703	56240
maio	0	0	0,703	0
junho	0	0	0,703	0
julho	30000	6	0,703	126540
agosto	0	0	0,703	0
setembro	0	0	0,703	0
outubro	80000	2	0,703	112480
novembro	0	0	0,703	0
dezembro	0	0	0,703	0

Fonte: Autor (2022).

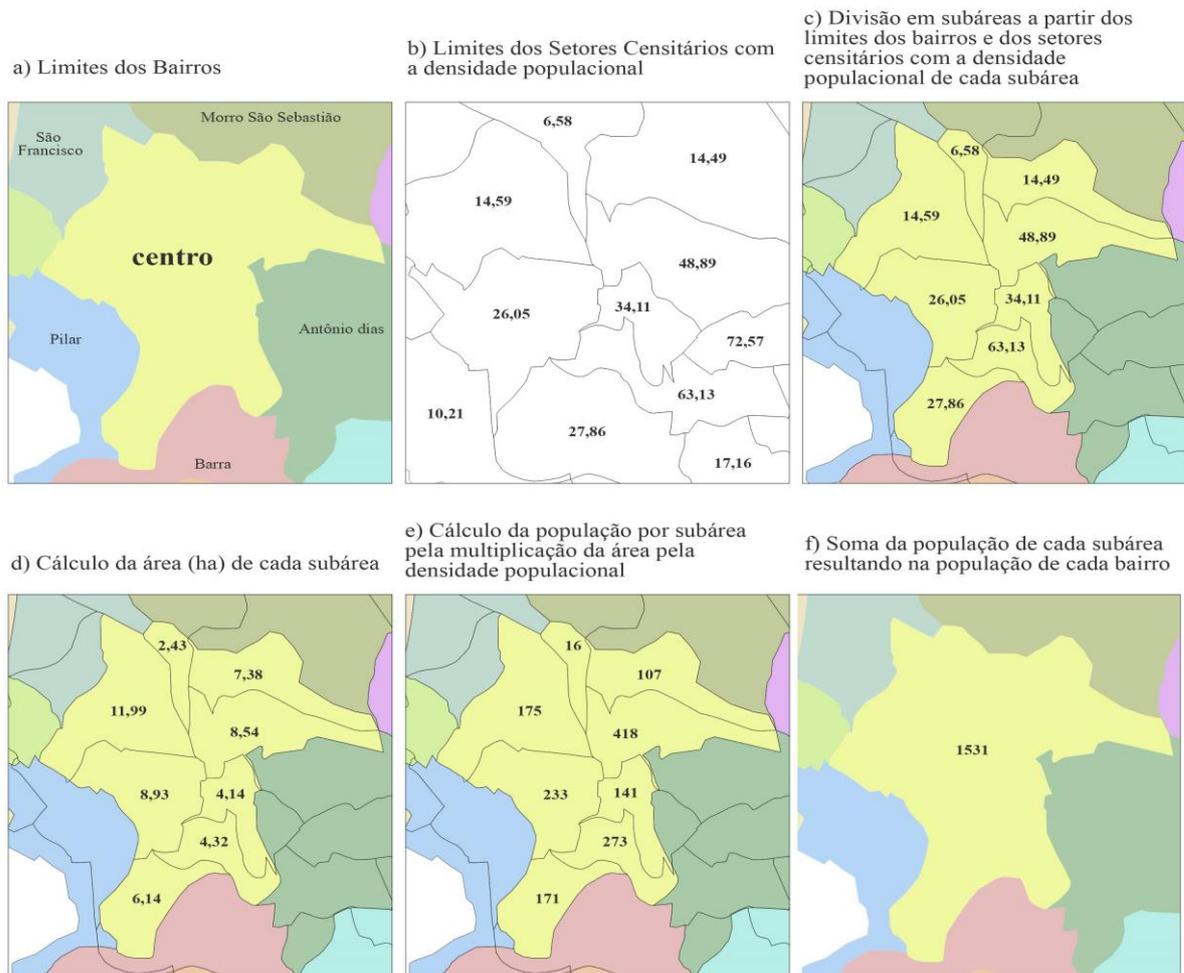
4.2.5. Distribuição Populacional

Um dos critérios de maior importância a ser considerado ao se espacializar a geração de Resíduos Sólidos Urbanos é a distribuição populacional no município. Embora este dado não esteja incluído na Equação 1, que calcula a taxa de geração per capita diária de RSU (TGD), ele será necessário para quantificar a geração de RSU totais de um determinado bairro. Esta quantificação será fundamental para definição dos intervalos adotados para cada coeficiente, conforme será abordado no tópico “4.2.6 Definição dos Coeficientes”, e para comparar as diferentes metodologias de espacialização de geração de RSU abordadas neste trabalho.

A distribuição populacional foi obtida do censo do IBGE de 2010 que fornece a faixa populacional de cada setor censitário. Esta setorização censitária corresponde a um recorte do território que considera diversas estruturas territoriais e político-administrativas para definição dos seus limites (IBGE, 2021). Como esta setorização nem sempre corresponde à divisão de bairros da cidade, foi necessário reagrupar os dados censitários por bairros. Para isso, foi analisado o formato dos setores censitários sendo possível observar que alguns dos seus limites correspondiam aos mesmos limites dos bairros da cidade, seguindo o traçado de alguma via ou barreira natural. A camada de setores censitários foi então alterada de forma que estes confrontantes próximos se sobrepusessem, evitando áreas sem dados em processamentos futuros. Posteriormente, foi calculada a densidade demográfica dos setores censitários, dividindo-se a população de cada setor por sua respectiva área. Os limites dos bairros que não sobrepujam os limites dos setores censitários foram usados para redividir a cidade em subáreas, de forma que fosse possível agrupar diferentes partes dos setores censitários dentro dos limites dos bairros da cidade.

A densidade demográfica de cada setor censitário se mantém inalterada mesmo com os setores divididos em subáreas, de forma que, multiplicando-se esta densidade pela área de cada subárea, obtemos a população desta subárea em questão. Por fim, as subáreas existentes dentro de cada bairro foram unidas, somando-se as populações de cada subárea, obtendo-se assim, a população total daquele bairro, vide esquema apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Esquema de determinação da população de cada bairro de Ouro Preto-MG.



Fonte: Autor (2022).

Todo este procedimento foi feito com auxílio da ferramenta “Calculadora Raster” do software de geoprocessamento QGIS.

4.2.6. Definição dos Coeficientes

Existe um desafio em cruzar diferentes variáveis procurando uma correlação entre elas. Isto se dá principalmente pela dificuldade em estipular a influência de cada critério sobre o evento final observado.

Cada um dos coeficientes neste trabalho se respalda em valores diretamente correlacionados com alguma grandeza que alterava a geração de RSU. No entanto, um determinado critério apresentará maior ou menor potencial de alterar a geração de RSU quando comparado a outros. Realizar a multiplicação com base na Equação 1 sem realizar nenhuma ponderação, pode resultar em uma dissimetria entre os critérios, uma vez que a quantidade de

RSU alterada por cada grandeza é diferente. Para corrigir essa possível discrepância, foi definido o intervalo em que os coeficientes oscilariam conforme o potencial de geração mensal de RSU.

O Coeficiente de Sazonalidade (CZ) foi calculado com base na geração de resíduos que a população flutuante promove. Os meses que não possuem nenhum evento, receberam coeficiente “1”. Os demais meses receberam um coeficiente proporcional ao adicional de RSU gerado naquele mês, variando por bairro conforme o número de moradias temporárias presentes no município. Como a geração de resíduos pela população flutuante atraída por grandes eventos não está incluída no cálculo da Taxa Anual de Geração de RSU que serve de base para o cálculo de TGD, os CZ devem receber valores maiores que 1, de forma que a quantidade de RSU gerado por esta população flutuante seja adicionada a geração diária do município.

Conforme demonstrado no tópico “4.2.3 Atividade Econômica”, foi possível estimar a quantidade de RSU gerado mensalmente em cada bairro em função do critério de atividade econômica. Para se definir o Coeficiente de Atividade Econômica (CAE) foi calculada a soma dos desvios médios do conjunto de dados obtidos na Tabela 5, representando o quanto a geração de RSU se altera em cada bairro em relação a um valor médio. O uso do desvio médio é justificado pela presença do RSU gerado em função de atividades econômicas na Taxa Anual de Geração (TAG), sendo necessário apenas estimar o quanto esta geração se afasta de um valor médio em relação a cada bairro. Em outras palavras, é analisada a oscilação da geração de resíduos em relação a este critério, indicando o potencial que a atividade econômica tem de aumentar ou diminuir a quantidade de RSU dentro de cada bairro.

Ao se analisar os dados de geração de RSU por estabelecimentos comerciais, notou-se que os bairros Centro e Bauxita apresentaram valores muito maiores que a média dos outros bairros. Estes *outliers* fizeram com que o desvio padrão do conjunto de dados dispostos na Tabela 5 seja extremamente alto, em torno de 40%, e como o CAE é calculado a partir de uma comparação entre os dados, os demais bairros da cidade acabam por receber CAE muito baixo, afetando diretamente o valor final de TGD obtido. Logo, estes *outliers* foram desconsiderados na hora de se obter os valores de CAE e posteriormente adicionados mantendo-se a proporção inicial. Desta forma, os bairros Bauxita e Centro apresentaram valores mais altos que o intervalo comumente observado para este coeficiente.

O cálculo do Coeficiente de Renda (C\$) foi realizado de forma semelhante ao cálculo do CAE. O modelo usado para determinar a geração de RSU em função da renda mencionado no tópico “4.2.2 ”, contabiliza todo o resíduo gerado em cada bairro, sendo necessário considerar apenas a alteração proporcionada pela diferença de renda. Desta forma, foi calculada a soma dos desvios de todas as taxas de geração de resíduos (Y médio) presentes na Tabela 2.

Os intervalos de coeficientes obtidos para cada critério estão expostos na Tabela 8, correspondendo a influência de cada critério na geração de RSU de cada mês.

Tabela 8 - Definição dos Coeficientes de geração de RSU.

Critério	Desvio RSU Mensal (t)	Frequência Relativa	Coefficientes
CAE	486	0,27	0,73-1,27
C\$	398	0,22	0,78-1,22
CZ	928	0,51	1,00-1,51

Fonte: Autor (2022)

A frequência relativa obtida da Tabela 8 corresponde o quanto cada critério influencia na geração de RSU em relação ao todo. Como a Equação 1 obtida da metodologia proposta por Gallardo et al. (2014), se trata de uma multiplicação, a influência de cada critério para definição dos coeficientes deve variar ao entorno de 1, alterando para mais ou para menos conforme a frequência relativa obtida. A única exceção foi o critério de sazonalidade (CZ) que alterou os valores para números maiores que 1 pelos motivos já mencionados.

A relação entre os critérios, os bairros e os coeficientes estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficientes de Geração de RSU.

Bairros	C\$	CAE	CZ fevereiro	CZ abril	CZ julho	CZ outubro	CZ demais Meses
Água Limpa	0,98	1,03	1,09	1,01	1,02	1,06	1,00
Alto da Cruz	0,98	0,92	1,02	1,00	1,01	1,03	1,00
Antônio Dias	0,98	1,27	1,18	1,02	1,04	1,08	1,00
Bairro da Lagoa	0,86	0,81	1,02	1,00	1,01	1,02	1,00
Barra	0,98	1,06	1,06	1,01	1,02	1,06	1,00
Bauxita	1,22	1,80	1,12	1,01	1,01	1,15	1,00
Cabeças	0,98	0,90	1,03	1,01	1,01	1,03	1,00
Centro	1,22	2,50	1,51	1,07	1,10	1,27	1,00
Dores	0,86	0,78	1,02	1,00	1,01	1,01	1,00
Jardim Alvorada	1,22	0,81	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00
Lagoa	0,86	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Maria Soares	0,86	0,73	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Morro da Queimada	0,78	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Morro do Cruzeiro	1,22	0,92	1,04	1,00	1,00	1,01	1,00
Morro Santana	0,78	0,82	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00

Morro São João	0,86	0,82	1,01	1,00	1,00	1,02	1,00
Morro São Sebastião	0,86	0,87	1,02	1,00	1,01	1,03	1,00
Novo Horizonte	0,98	0,78	1,02	1,00	1,01	1,01	1,00
Nsa. Sra. de Lourdes	1,22	0,85	1,02	1,00	1,01	1,02	1,00
Nsa. Sra. do Carmo	0,86	0,77	1,01	1,00	1,00	1,01	1,00
Padre Faria	0,86	0,81	1,01	1,00	1,00	1,02	1,00
Passa Dez de Baixo	0,98	0,76	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00
Passa Dez de Cima	0,98	0,76	1,01	1,00	1,00	1,01	1,00
Piedade	0,78	0,76	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00
Pilar	0,98	1,12	1,09	1,01	1,01	1,05	1,00
Pocinho	0,78	0,77	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00
Rosário	0,98	1,03	1,09	1,01	1,01	1,04	1,00
Santa Cruz	0,78	0,83	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00
São Cristóvão	0,78	0,94	1,03	1,01	1,01	1,04	1,00
São Francisco	0,78	0,83	1,03	1,01	1,01	1,02	1,00
Saramenha	0,78	0,84	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00
Taquaral	0,78	0,80	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00
Tavares	0,86	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vila Aparecida	0,86	0,93	1,04	1,00	1,00	1,03	1,00
Vila dos Engenheiros	1,22	0,81	1,03	1,00	1,00	1,01	1,00
Vila Operária	0,78	0,78	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00
Vila São José	0,98	0,76	1,01	1,00	1,00	1,01	1,00
Vila Sta. Isabel	0,78	0,76	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00

Fonte: Autor (2022)

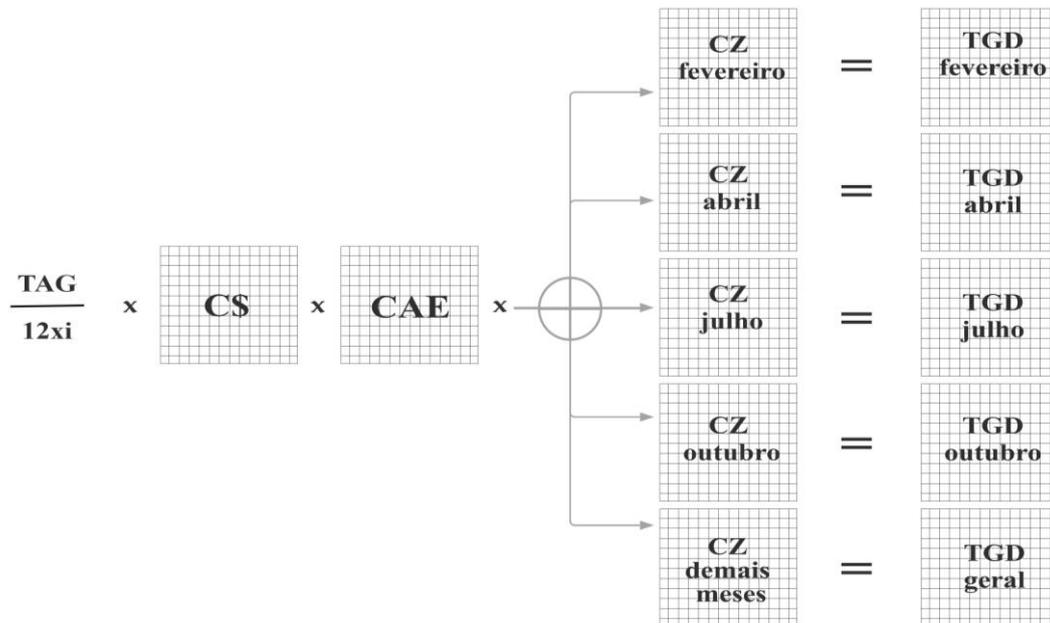
4.2.7. Construção de Mapas de RSU

Em função da análise da sazonalidade neste trabalho foram gerados 4 mapas para cada agrupamento temporal analisado sendo eles fevereiro, abril, julho e outubro, conforme as particularidades de cada um destes meses discutidos no tópico “4.2.4 ”, e um mapa geral que considera a geração de resíduos em meses em que não existem eventos de grande porte.

Inicialmente, foram gerados mapas distintos para cada critério, sendo um mapa correspondente à renda, outro à atividade econômica e outros cinco mapas de sazonalidade correspondentes a cada agrupamento temporal. Como os mapas associados a cada critério foram rasterizados, eles passam a ter uma estrutura matricial onde cada célula ou pixel possui um valor exato. Durante a multiplicação de diferentes mapas, cada célula será multiplicada pela célula de mesma correspondência presente em outro mapa, desde que estejam igualmente georreferenciados. A Figura 5 mostra como foram construídos os mapas finais de Taxa de Geração Diária (TGD), onde é possível observar que o único termo não matricial é o valor de

$\frac{TAG}{12xi}$, sendo uma constante que representa a taxa de geração per capita média de RSU, que altera o valor de todas as células do raster.

Figura 5 - Metodologia de construção dos mapas de TGD



Fonte: Autor (2022)

Toda a operação matricial foi realizada com o auxílio da ferramenta “Calculadora” Raster do Software de geoprocessamento Quantum GIS.

4.3. Comparação entre diferentes métodos de criação de mapas de geração de RSU

De forma a comparar os resultados obtidos a partir do uso da metodologia de Gallardo et al. (2014) com outras metodologias mais simplificadas de geoespacialização da geração de RSU, foram criados mapas que consideram diferentes valores de TGD obtidos na literatura. Busca-se compreender se os resultados obtidos por essas metodologias mais simplificadas se assemelham aos resultados obtidos a partir da metodologia multicriterial de Gallardo et al. (2014) e inferir sobre a viabilidade de utilização da mesma.

Como os valores de TGD representam a geração de RSU por pessoa, se faz necessário considerar a distribuição populacional da cidade de Ouro Preto – MG para uma estimativa quantitativa que embase possíveis tomadas de decisão. Desta forma, os valores de TGD considerados neste trabalho foram multiplicados pela população de cada bairro de forma a se obter a geração per capita diária, expressa em kg/dia.

O primeiro mapa de geração diária de RSU foi elaborado a partir dos valores de “TGD Geral” obtidos pela metodologia de Gallardo (2014), pelo produto dos valores de TGD de cada bairro por suas respectivas populações.

Nos documentos oficiais elaborados para o município de Ouro Preto-MG não é realizada nenhuma espacialização na geração dos resíduos e nem criado mapas com tal objetivo. Ainda assim, é possível se obter a quantidade de RSU gerado diariamente em um determinado bairro a partir do TGD médio obtido no PIGIRS (2020), multiplicando-se este TGD, que equivale a 0,703 kg/hab./dia, pela população de cada bairro. Desta forma, o segundo mapa elaborado reflete diretamente a densidade populacional da cidade.

O terceiro e último mapa foi elaborado a partir dos valores de TGD obtidos pela metodologia de Dias et al. (2012) utilizada no tópico “4.2.2”. Esta metodologia estima valores de TGD por bairro conforme a sua classificação de renda. O mapa de geração diária de RSU por esta metodologia foi elaborado de forma análoga aos mapas citados neste tópico, multiplicando-se o valor de TGD de cada bairro por sua respectiva população.

Ressalta-se que os 3 mapas obtidos neste tópico não consideram a variação sazonal na cidade conforme diferentes meses do ano e nem a população flutuante.

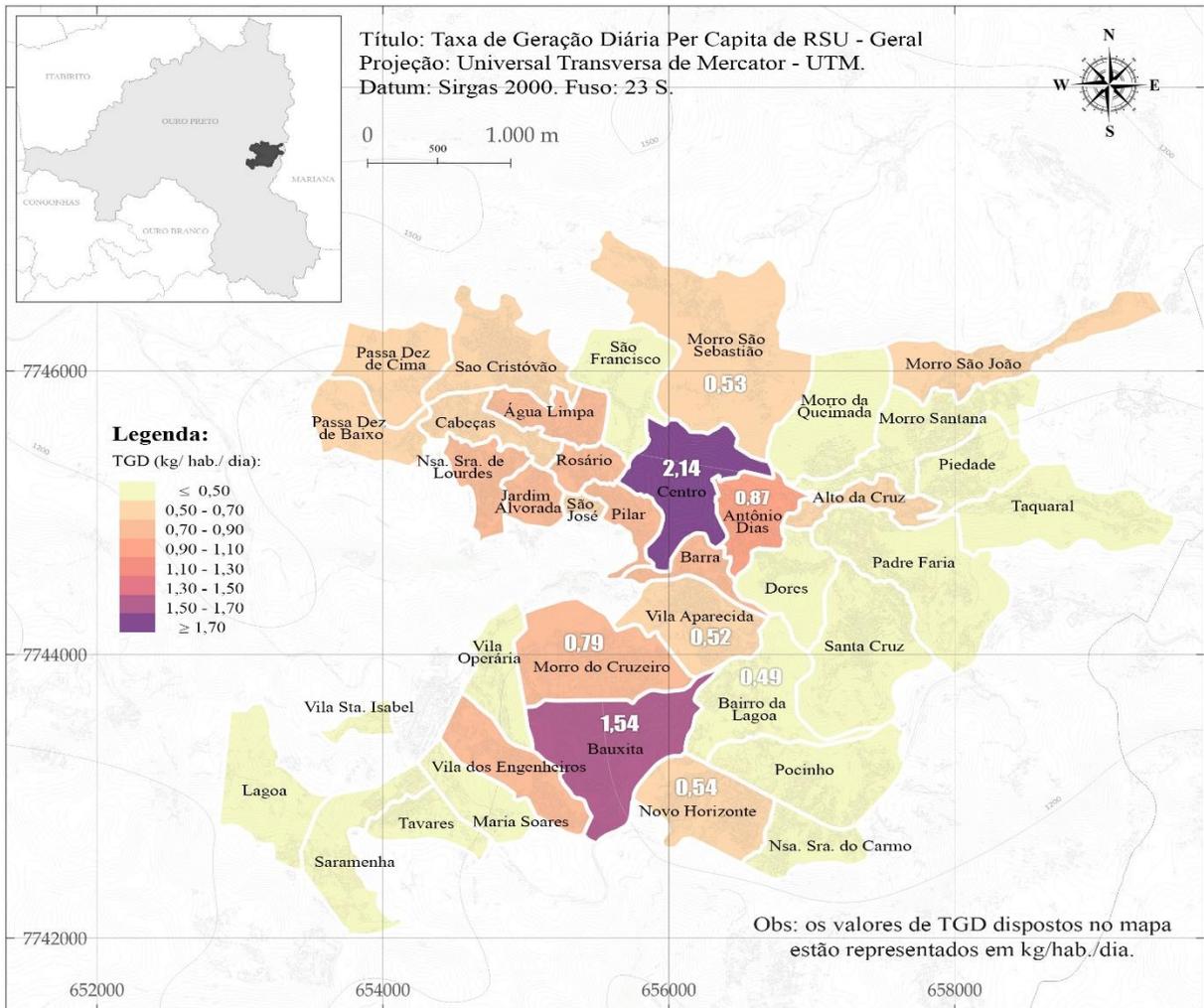
5. RESULTADOS

5.1. Criação de Mapas de geração de RSU através de Geoprocessamento

5.1.1. Mapa de TGD Geral

Nesta etapa foram gerados 5 mapas da Taxa de Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (TGD). O primeiro é o mapa de TGD geral, expresso na Figura 6, que exhibe os valores de taxa de geração per capita diária de RSU (TGD) correspondentes aos meses onde não foi observada a ocorrência de grandes eventos, sendo estes: janeiro, março, maio, junho, agosto, setembro, novembro e dezembro.

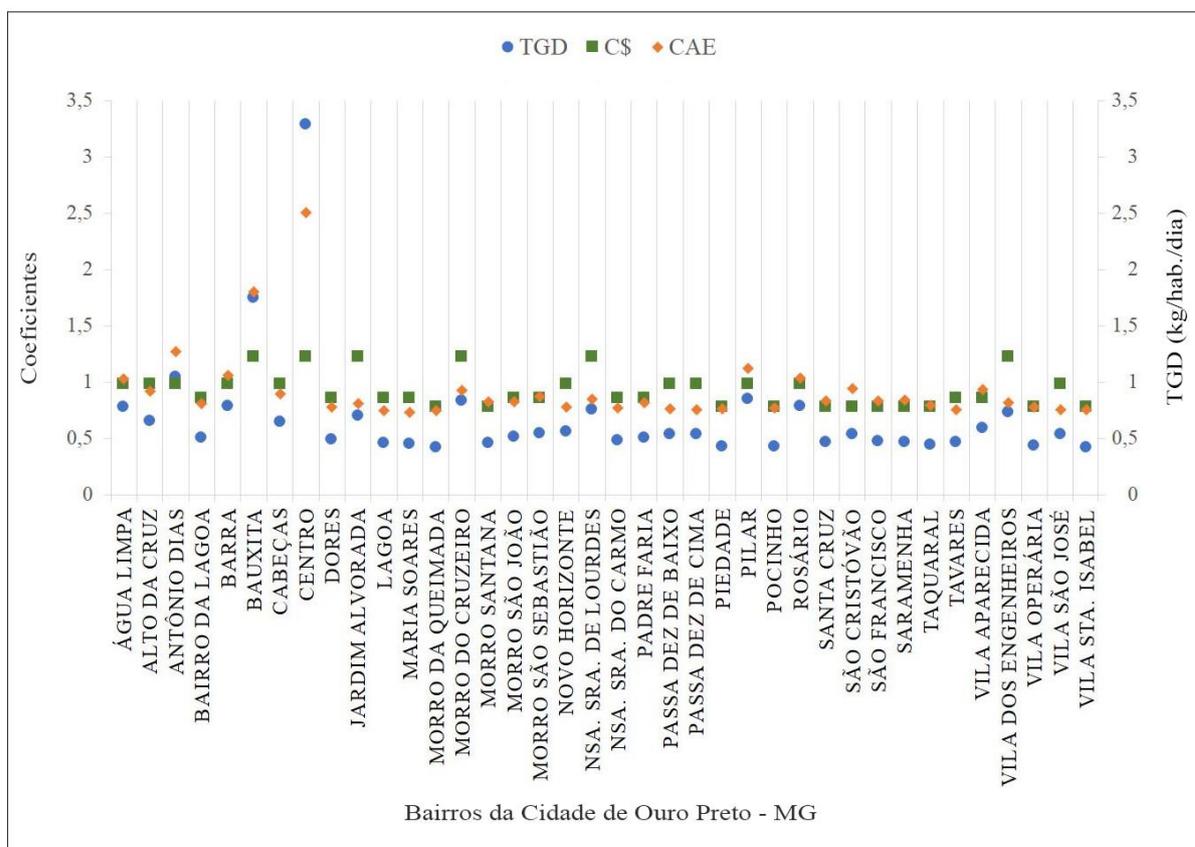
Figura 6 - Mapa de TGD Geral de Ouro Preto



Fonte: Autor (2022).

Neste mapa é possível observar que o TGD na maioria dos bairros com carácter residencial oscilou em torno de 0,4 a 0,7 kg/hab./dia, com valores relativamente inferiores que 0,703 kg/hab./dia, observados na literatura. A partir do Gráfico 6, que exibe uma comparação entre o TGD geral e os critérios de renda (C\$) e atividade econômica (CAE), é possível observar que a renda foi o critério que mais influenciou o TGD em bairros onde os valores de CAE não eram tão expressivos. Já nos bairros Centro e Bauxita, que apresentaram os maiores TGD, sendo estes 2,17 e 1,56 kg/hab./dia respectivamente, foi possível notar que o principal fator que influenciou a geração de RSU foi o alto coeficiente de atividade econômica, tendo a renda pouca influência. Isto indica que o critério de renda pode ser suficiente para explicar a geração de RSU em outras localidades sem vocação comercial e/ou turística. Nestas localidades, a análise da atividade econômica não deve ser ignorada.

Gráfico 6 - Valores de TGD Geral em relação ao Coeficiente de Atividade Econômica (CAE) e ao Coeficiente de Renda (C\$).



Fonte: Autor (2022).

Os bairros Nossa Sra. de Lourdes, Barra, Água Limpa, Rosário, Pilar, Morro do Cruzeiro e Antônio Dias apresentaram TGD entre 0,7 e 0,9 kg/hab.dia, uma taxa maior que a maioria dos bairros. O que os diferenciou dos demais foram coeficientes mais altos de atividade econômica e renda, tendo ambos os critérios influenciado a geração de RSU de forma proporcional. A média dos valores de TGD Geral, calculada proporcionalmente ao número de habitantes de cada bairro, resultou em 0,692 kg/hab.dia, valor muito próximo do valor 0,703 kg/hab.dia estimado pelo Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS, 2020). Os bairros que apresentaram menores TGD são os bairros Morro da Queimada, Pocinho e Piedade, todos com valores em torno de 0,40 kg/hab.dia, refletindo a ausência comercial e a baixa classificação de renda.

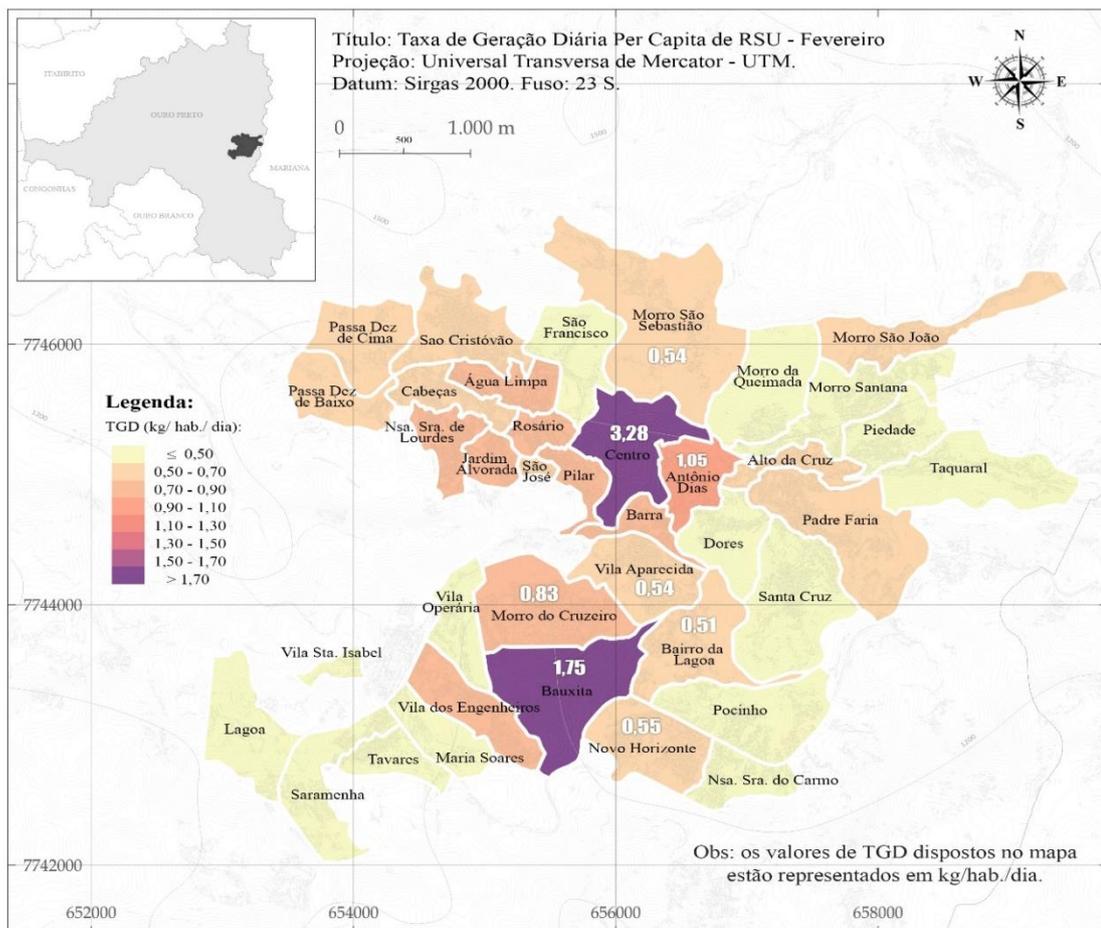
Assim, verifica-se que este resultado pode subsidiar a logística de coleta no município, sendo a frequência e rota estabelecidas a partir da geração média considerando os fatores aqui analisados. Não raro é observado que o gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos das cidades se dá de forma remediadora, em que se adota uma frequência de coleta única para todo

município ou atuam conforme exigência da sociedade, sem a definição clara de critérios. Outro ponto que pode se beneficiar deste resultado é a coleta seletiva, como por exemplo, pode-se definir pontos de entrega voluntária a partir dos pontos de maior geração considerando aspectos econômicos e não apenas atividade comercial.

5.1.2. Mapa de TGD de fevereiro

A Figura 7 mostra o mapa de TGD de Ouro Preto – MG referente ao mês de fevereiro. Para este mês foi determinado o maior coeficiente de sazonalidade refletindo em taxas mais altas de geração de RSU, principalmente nos bairros Centro, Bauxita e Antônio Dias, que tiveram TGD de 3,28, 1,75 e 1,04 kg/hab.dia, respectivamente, por contemplar o maior número de hotéis, pousadas e repúblicas voltadas à recepção dos turistas atraídos pelo Carnaval.

Figura 7 - Mapa de TGD de Ouro Preto - MG. Mês de Referência: fevereiro.



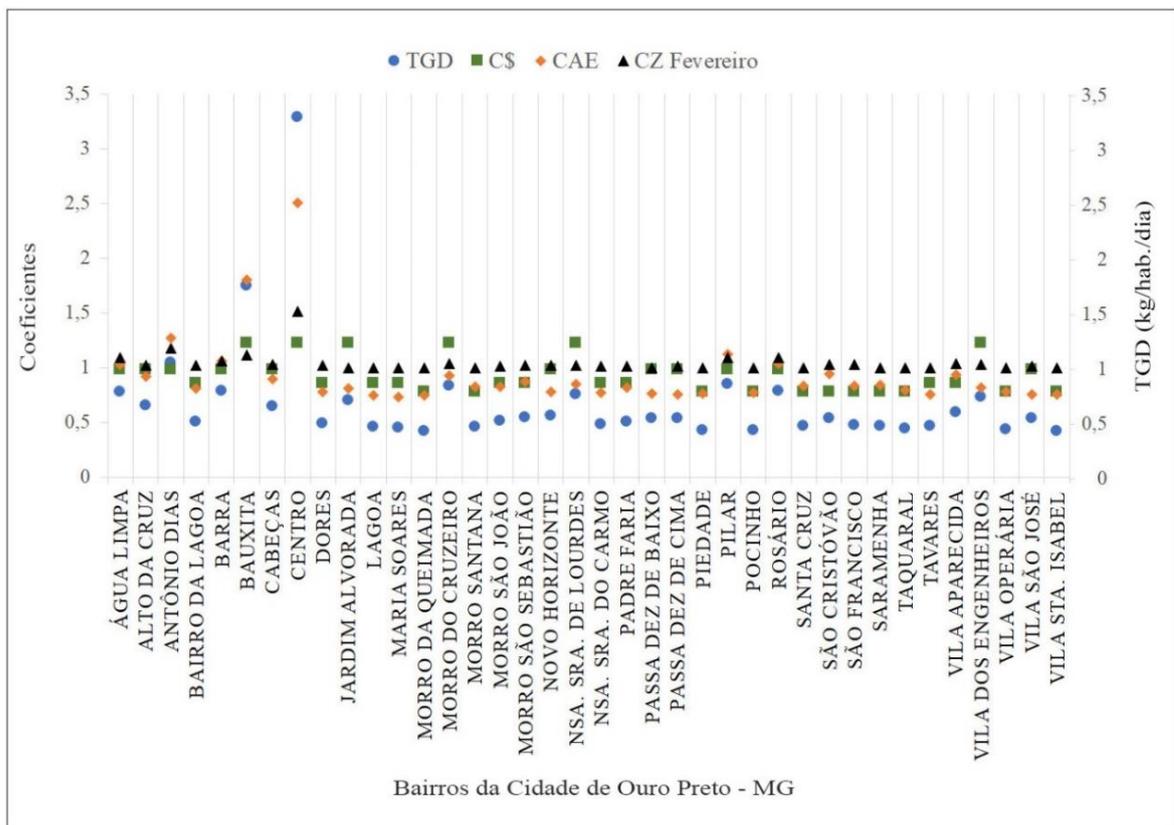
Fonte: Autor (2022).

Embora o TGD nos demais bairros não tenham se alterado de forma significativa mesmo ao se considerar que a presença adicional 150.000 pessoas, este mapa representa uma média de

todo o mês de fevereiro e o carnaval só acontece durante uma semana deste mês, diluindo assim o impacto do evento. Evidentemente, um estudo que analise somente os dias de evento, apresentarão números relativamente maiores de TGD.

É possível observar o efeito da sazonalidade no gráfico expresso pela Gráfico 7, sendo possível notar que ele em pouco influencia no valor de TGD uma vez que o valor mais comum observado para este coeficiente é próximo de “1”. As exceções estão nos bairros Centro e entorno, Bauxita e Morro do Cruzeiro.

Gráfico 7 - TGD de fevereiro analisando Coeficiente de Renda (C\$), Coeficiente de Atividade Econômica (CAE) e Coeficiente de Sazonalidade (CZ). Mês de referência: fevereiro.



Fonte: Autor (2022).

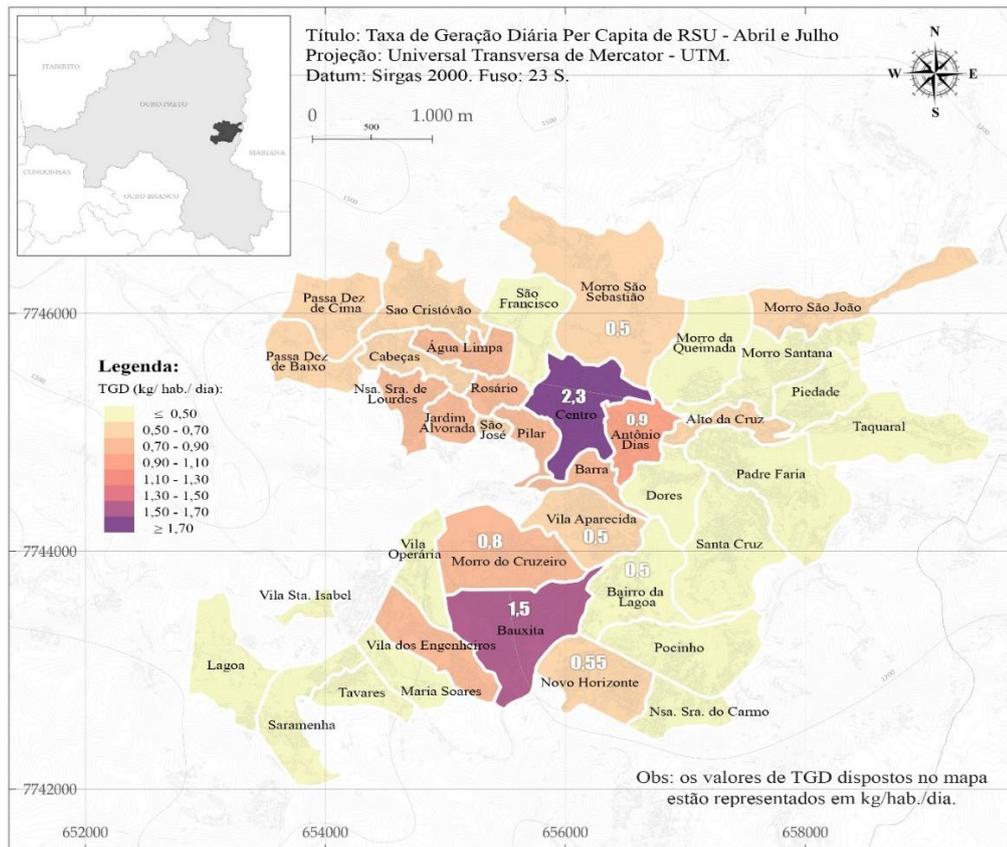
É possível perceber que durante as festividades de Carnaval na cidade, estes bairros devem contar com uma infraestrutura adicional no que tange o gerenciamento de RSU. Isto pode ser feito aumentando o número de coletores e a frequência da limpeza urbana bem como realocando os funcionários dedicados à varrição e a coleta de RSU para os bairros de maior geração. Embora isto já seja feito no centro histórico da cidade e nos locais onde acontecem os blocos de Carnaval, considerar outras regiões com maior número de moradias temporárias como a Bauxita e o Morro do Cruzeiro pode contribuir para uma cidade mais limpa.

5.1.3. Mapa de TGD de abril e julho

O mapa de TGD do mês de abril expresso na Figura 8 apresenta algumas diferenças em relação ao mapa geral de TGD, demonstrando que o impacto da Semana Santa se deu principalmente nos bairros ao entorno do Centro Histórico e alguns poucos residenciais com hotéis e pousadas, alterando sua TGD em uma intensidade próxima de até 0,01 kg/hab./dia, com maior aumento no bairro Centro, cerca de 0,3 kg/hab./dia.

O mapa referente ao mês de julho ficou igual ao do mês de abril, por apresentarem pouca variação de TGD em relação um ao outro. Desta forma, ambos foram expressos na Figura 8. Tal semelhança advém da proximidade da população flutuante nestes dois meses e dos turistas se alocarem na mesma região. As TGD médias estimadas de abril e julho foram de 0,719 e 0,699 kg/hab./dia respectivamente, valores próximos aos observados no PIGIRS (2019) e no Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais (PESBMG, 2021).

Figura 8 - Mapa de TGD de Ouro Preto. Mês de Referência: abril.

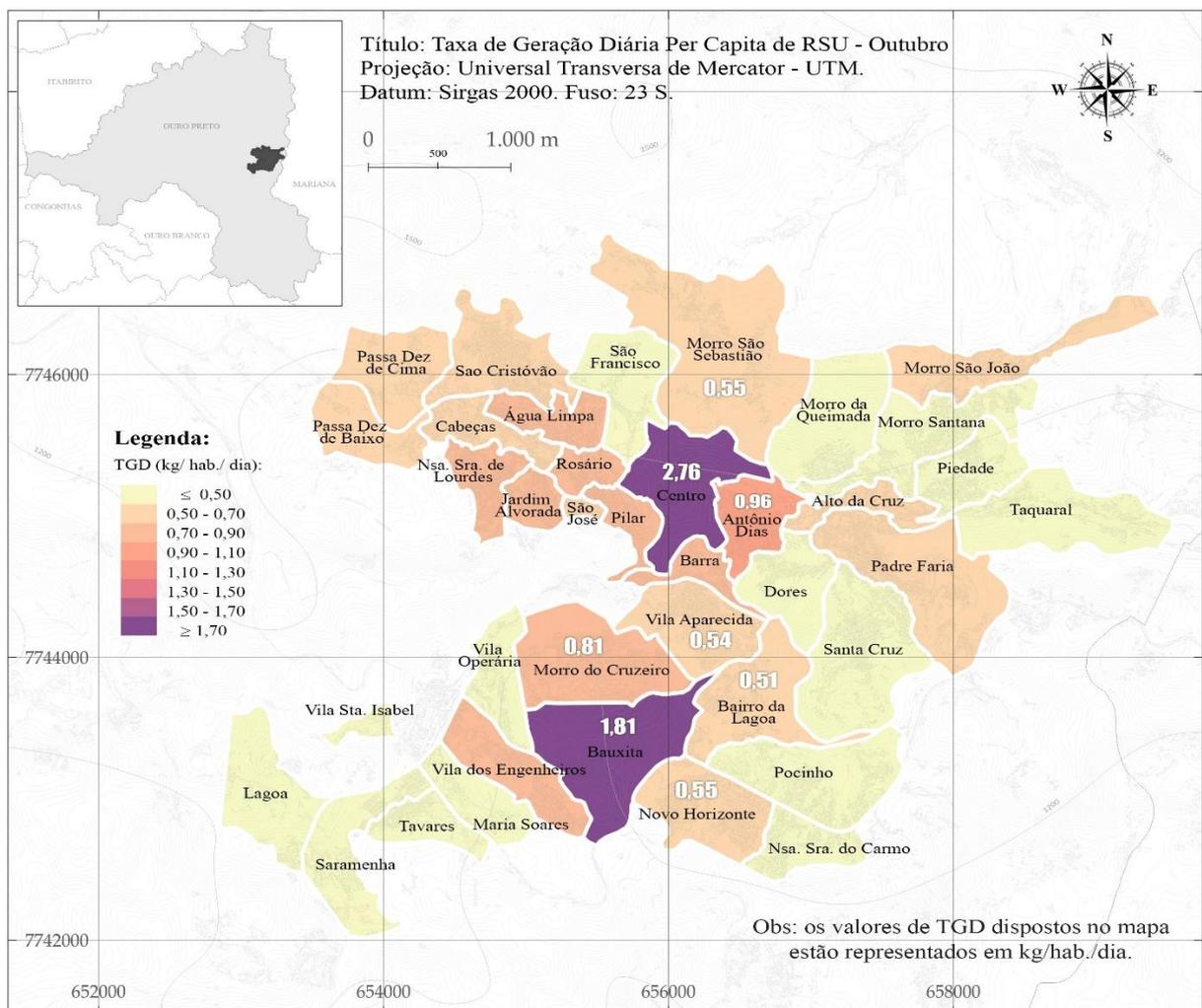


Fonte: Autor (2022).

5.1.4. Mapa de TGD de outubro

A Figura 9 exibe o mapa de TGD referente ao mês de outubro. Nele é possível ver uma maior espacialização no aumento de TGD com relação ao mapa referente aos meses de abril e julho, sendo os bairros Centro e Bauxita os que mais apresentaram aumento na geração de RSU, com valores de TGD iguais 2,77 e 1,81 kg/hab.dia respectivamente. Os bairros próximos do Centro Histórico como Água Limpa, Rosário, Jardim Alvorada, Pilar, Nossa Sra. De Lourdes, Vila Aparecida apresentaram aumento de TGD em cerca de 0,02 kg/hab.dia em relação ao mapa de TGD Geral, enquanto o restante da cidade continuou apresentando valores entre 0,6 e 0,8 Kg/hab.dia. A média de TGD observada para este mês foi de 0,732 Kg/hab.dia, sendo este valor relativamente maior que o observado na literatura.

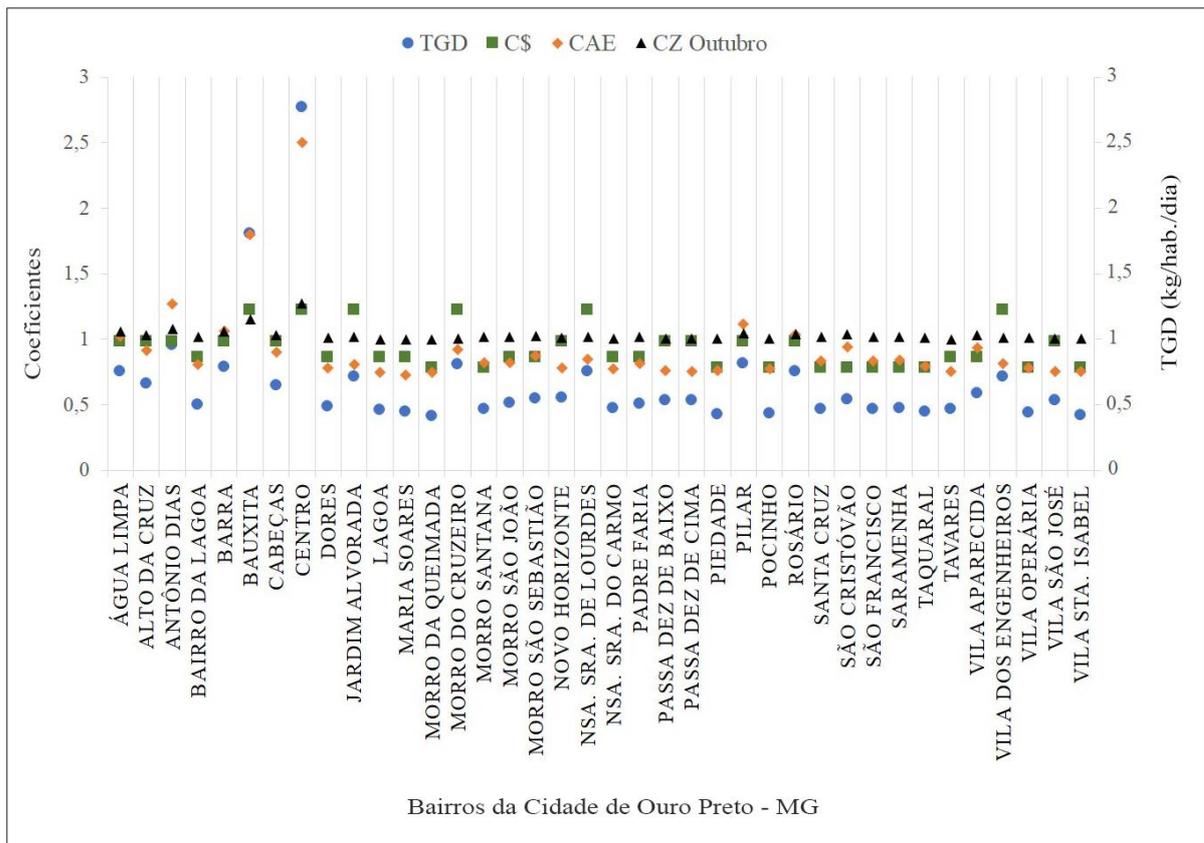
Figura 9 - Mapa de TGD de Ouro Preto. Mês de Referência: outubro.



Fonte: Autor (2022).

O Gráfico 8 mostra a relação dos coeficientes de cada critério e a geração de TGD calculada para o mês de outubro. Nele é possível observar que, embora a sazonalidade tenha alterado a geração de RSU, o critério de renda ainda se apresentou como mais relevante para o cálculo do TGD nos bairros residenciais e o de Atividade Econômica para os bairros próximos do Centro Histórico.

Gráfico 8 - TGD referente ao mês de outubro com relação a Coeficiente de Renda (C\$), Coeficiente de Atividade Econômica (CAE) e Coeficiente de Sazonalidade (CZ). Mês de referência: outubro.



Fonte: Autor (2022).

No geral, os bairros que não sediaram eventos sofreram pouca alteração na geração de RSU em função da sazonalidade, indicando que uma maior atenção deva ser dada aos bairros turísticos e universitários em épocas de grandes eventos. Isto pode ser feito adicionando recipientes de acondicionamento temporário e aumentando a frequência de coleta e varrição nos bairros do núcleo histórico e na Bauxita.

O delineamento da sazonalidade, com estimativas embasadas do crescimento dos RSU nos períodos analisados podem auxiliar o gerenciamento de resíduos nos seguintes aspectos: Frequência de coleta; estimativa de aumento de capital das cooperativas de recicláveis;

estimativa de vida útil de aterro considerando este crescimento; necessidade de aumento de colaboradores que atuam com limpeza urbana; e fornecimento de informações à população, com dados, que contribuam para estratégias de educação ambiental.

A Tabela 10 apresenta o resumo de todos os valores de TGD observados em cada bairro de cada mês de referência. A média expressa na última linha desta tabela considera a população de cada bairro para o cálculo, de forma que o TGD obtido seja proporcional a esta população.

Tabela 10 - Quadro Resumo com valores de TGD por bairro.

Bairros	População	TGD (kg/hab./dia)				
		Geral	Fevereiro	Abril	Julho	Outubro
Água Limpa	1212	0,565	0,668	0,579	0,563	0,585
Alto da Cruz	2376	0,544	0,603	0,554	0,537	0,551
Antônio Dias	1592	0,613	0,784	0,636	0,623	0,648
Bairro da Lagoa	875	0,453	0,502	0,462	0,448	0,452
Barra	414	0,572	0,658	0,586	0,570	0,596
Bauxita	3619	0,909	1,104	0,927	0,901	1,029
Cabeças	1058	0,537	0,601	0,548	0,533	0,544
Centro	1534	1,089	1,787	1,179	1,178	1,359
Dores	1163	0,453	0,502	0,462	0,448	0,449
Jardim Alvorada	414	0,643	0,699	0,652	0,631	0,641
Lagoa	506	0,447	0,486	0,454	0,439	0,439
Maria Soares	178	0,441	0,479	0,447	0,433	0,433
Morro da Queimada	966	0,406	0,441	0,411	0,398	0,398
Morro do Cruzeiro	363	0,678	0,765	0,687	0,665	0,668
Morro Santana	2729	0,417	0,453	0,423	0,409	0,415
Morro São João	918	0,459	0,504	0,467	0,452	0,458
Morro São Sebastião	1091	0,466	0,516	0,474	0,460	0,469
Novo Horizonte	824	0,517	0,573	0,526	0,510	0,512
Nsa. Sra. de Lourdes	849	0,660	0,732	0,672	0,652	0,662
Nsa. Sra. do Carmo	431	0,447	0,491	0,455	0,440	0,441
Padre Faria	2419	0,459	0,504	0,467	0,452	0,458
Passa Dez de Baixo	363	0,510	0,554	0,518	0,502	0,503
Passa Dez de Cima	458	0,510	0,559	0,518	0,502	0,503
Piedade	1875	0,406	0,441	0,411	0,398	0,400
Pilar	538	0,586	0,692	0,597	0,580	0,601
Pocinho	683	0,406	0,441	0,411	0,398	0,400
Rosário	459	0,565	0,668	0,578	0,562	0,577
Santa Cruz	3387	0,417	0,453	0,423	0,409	0,415
São Cristóvão	2069	0,433	0,484	0,442	0,429	0,440
São Francisco	877	0,417	0,466	0,425	0,413	0,415
Saramenha	522	0,417	0,453	0,423	0,409	0,415
Taquaral	850	0,411	0,447	0,417	0,404	0,408
Tavares	289	0,447	0,486	0,454	0,439	0,439

Vila Aparecida	1442	0,478	0,539	0,485	0,470	0,483
Vila dos Engenheiros	253	0,652	0,729	0,661	0,640	0,646
Vila Operária	388	0,411	0,447	0,417	0,404	0,408
Vila São José	197	0,510	0,559	0,517	0,500	0,503
Vila Sta. Isabel	86	0,406	0,441	0,411	0,398	0,400
Média Proporcional		0,692	0,824	0,719	0,699	0,732

Fonte: Autor (2022).

5.2. Comparação entre diferentes métodos de criação de mapas de geração de RSU

Neste tópico serão mostrados 3 mapas de Geração de RSU diário por bairros, sendo o primeiro o mapa geral elaborado por meio de geoprocessamento a partir da metodologia multicriterial adaptada de Gallardo et. al (2014), servindo de base comparativa para os demais mapas gerados. O segundo mapa representa a geração mensal de RSU elaborado de forma a se considerar a mesma taxa de geração per capita para todos os bairros, o TGD médio de 0,702 kg/hab./dia (PIGIRS, 2020), enquanto o terceiro considera o TGD obtido a partir da renda de cada bairro.

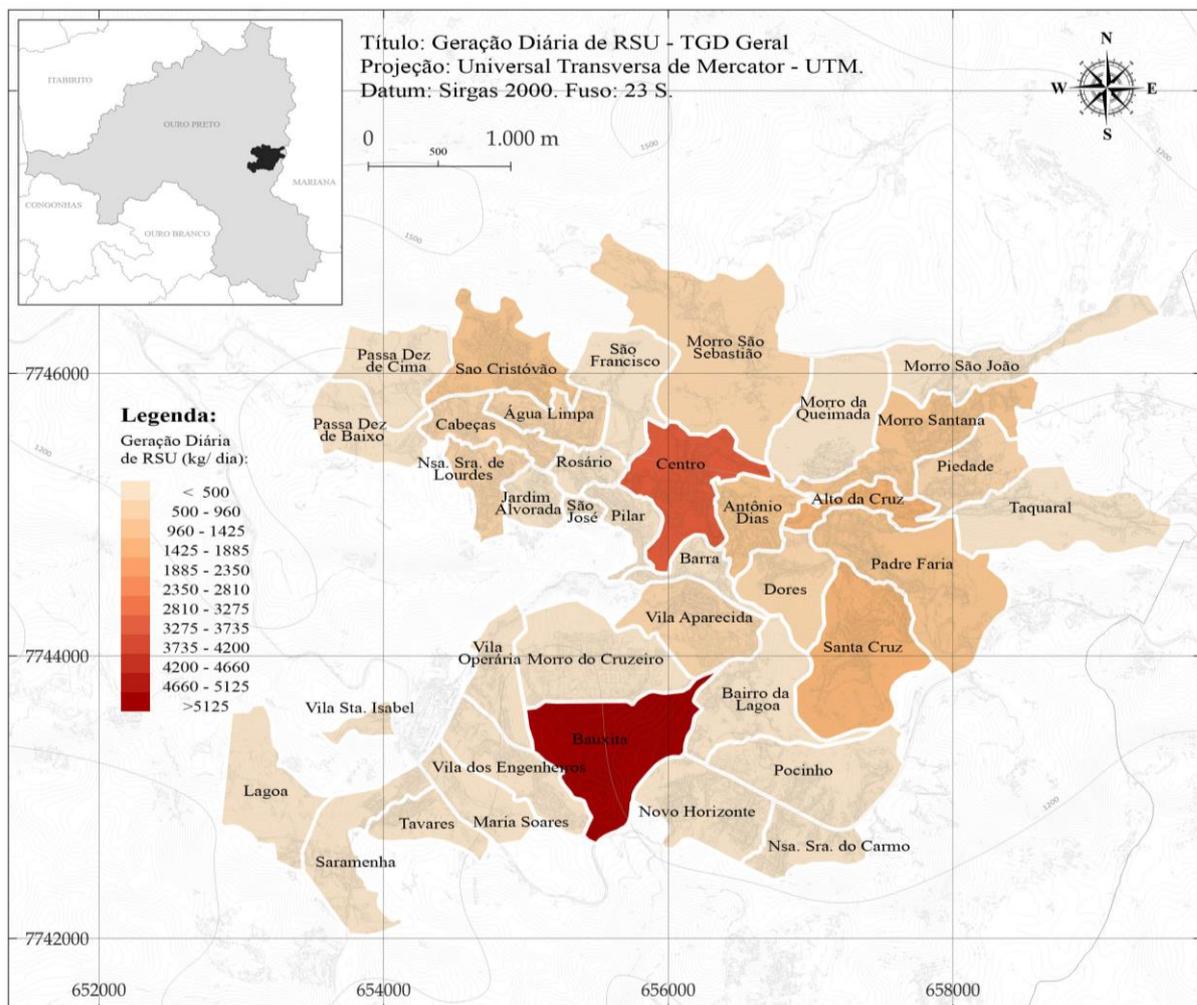
O mapa de geração diária obtido com base no TGD geral da metodologia Gallardo (2014) apresenta mudanças com relação aos mapas de TGD, conforme pode ser visto na Figura 10. Como a densidade populacional foi considerada, os bairros mais populosos apresentaram maior relevância na geração de RSU. Também se observou que o bairro Bauxita apresentou a maior geração de RSU embora o TGD obtido nos tópicos anteriores não tenha sido tão elevado quanto o do bairro Centro. Isto decorre, em partes, por não ter sido considerada a variação sazonal e a população flutuante para elaboração deste mapa, sendo o centro o bairro mais afetado por estas variáveis. Ainda assim, o número de estabelecimentos comerciais e a alta renda decorrem da alta atividade turística no local, de forma que a geração de RSU observada ainda mantém a influência da população flutuante.

Também é possível perceber que bairros que apresentaram TGD baixo como Padre Faria, Morro Santana, Dores e Santa Cruz apresentaram uma geração mensal de RSU relativamente alta, por vezes maiores que bairros ao entorno do centro histórico que apresentavam valores mais altos de TGD, como Pilar, São José, Rosário e Jardim Alvorada. Isto demonstra a necessidade de se considerar a densidade populacional para efeitos de gestão de RSU. Como mencionado no PGIRSU (2007), muitos dos problemas atrelados ao gerenciamento de RSU se concentravam em áreas residenciais, parte disto, em função do

direcionamento do foco aos bairros turísticos. Embora a geração do Centro Histórico ainda esteja entre as maiores da cidade, a geração de RSU dos bairros residenciais não é desprezível.

Também é observado a relevância do bairro bauxita na geração RSU, uma vez que o mesmo apresentou valores elevados de renda, população e estabelecimentos comerciais. Isto demonstra que em épocas em que os grandes eventos não acontecem, melhores resultados no gerenciamento de RSU podem ser obtidos dando um maior enfoque ao bairro Bauxita.

Figura 10 - Mapa Geral de geração de RSU diária elaborado a partir da metodologia adaptada de Gallardo et al. (2014).

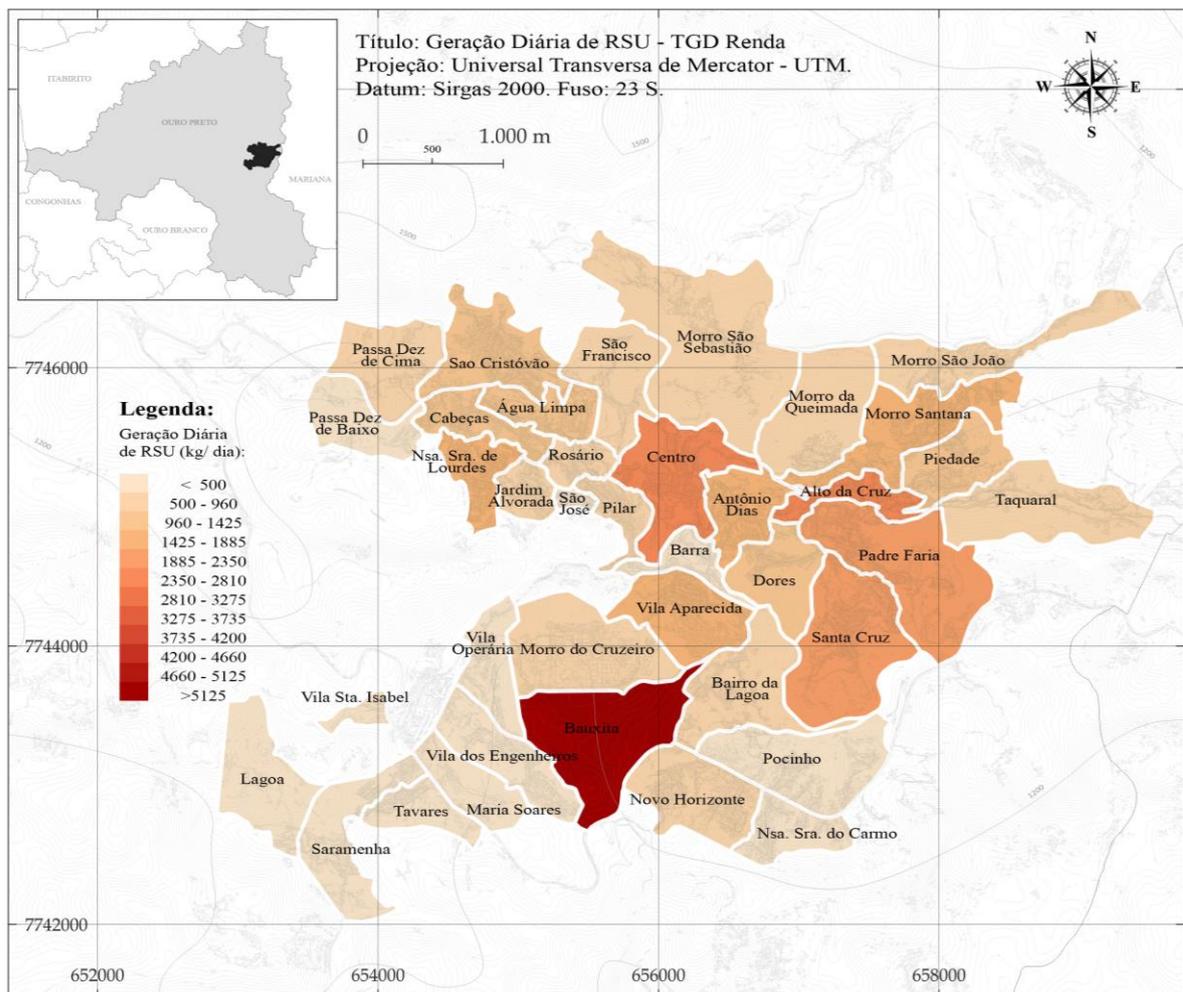


Fonte: Autor (2022).

O mapa criado a partir do critério de renda, expresso na Figura 11, apresentou uma espacialização da geração de RSU próxima a do mapa geral. É possível observar uma maior concentração de resíduos em bairros muito populosos periféricos sendo a densidade populacional um fator de grande impacto na maioria dos bairros. Também é possível notar que

houve um deslocamento da geração RSU gerado nos bairros ao entorno do centro histórico para os bairros residenciais mais populosos, explicado pela ausência do critério de “Atividade Econômica” na contabilização. De forma geral, houve um aumento proporcional na contabilização de resíduos na maior parte dos bairros, uma vez que a média da taxa per capita de geração de RSU em função da renda é maior em cerca de 0,3 kg/hab.dia. Uma das hipóteses para essa maior geração é a diferença entre o padrão de geração de RSU nos municípios utilizados para criação do modelo de renda, sendo estes capitais com grande população, e o padrão de geração de RSU de Ouro Preto – MG.

Figura 11 - Mapa de Geração Diária de RSU a partir da metodologia de Dias et al. (2012).



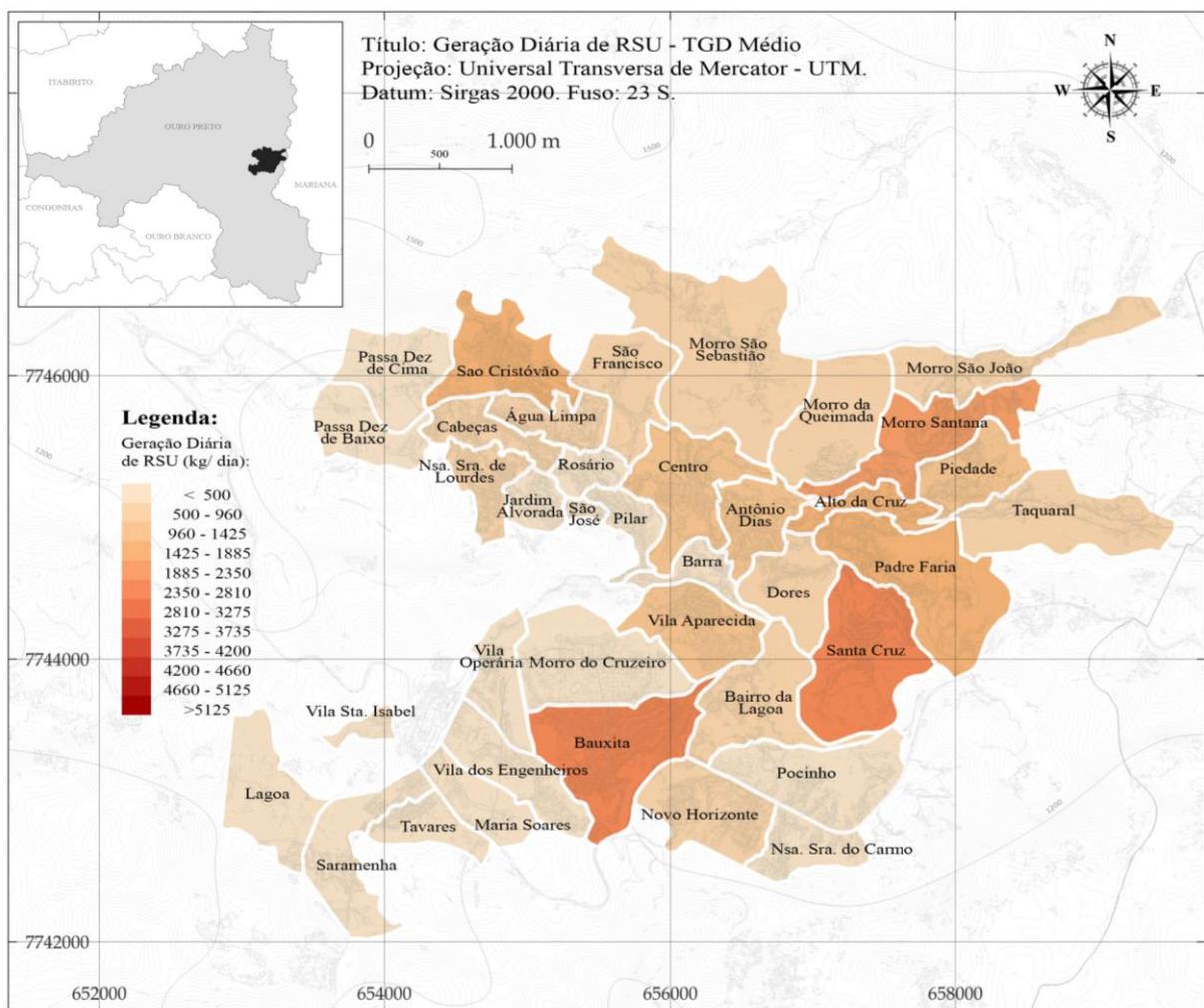
Fonte: Autor (2022).

A Figura 12 expressa o mapa de geração diária de RSU considerando o valor TGD Médio, que por ser único para toda a cidade, reflete a densidade populacional do município. Nele é possível observar que os bairros Santa Cruz, Morro Santana e Bauxita apresentaram maior geração de RSU diário, com uma diminuição da geração nos bairros Centro e entorno,

Morro do Cruzeiro e Vila dos Engenheiros, uma vez que nestes bairros os critérios de Renda e Atividade Econômica possuíam grande relevância.

É possível observar uma grande diferença entre os demais mapas elaborados uma vez que bairros como Santa Cruz, Morro Santana e São Cristóvão, que possuíam TGD baixos, apresentam maior geração de RSU que os bairros do Centro Histórico. Embora represente bem a densidade populacional, sendo este um dos critérios de maior relevância na geração de RSU, os resultados das metodologias de Dias et al. (2012) e Gallardo et al. (2014) se mostram mais coerentes por analisar critérios já conhecidos por alterar a geração de RSU.

Figura 12 - Mapa de Geração Diária de RSU a partir do TGD Médio obtido no PIGIRS (2020).

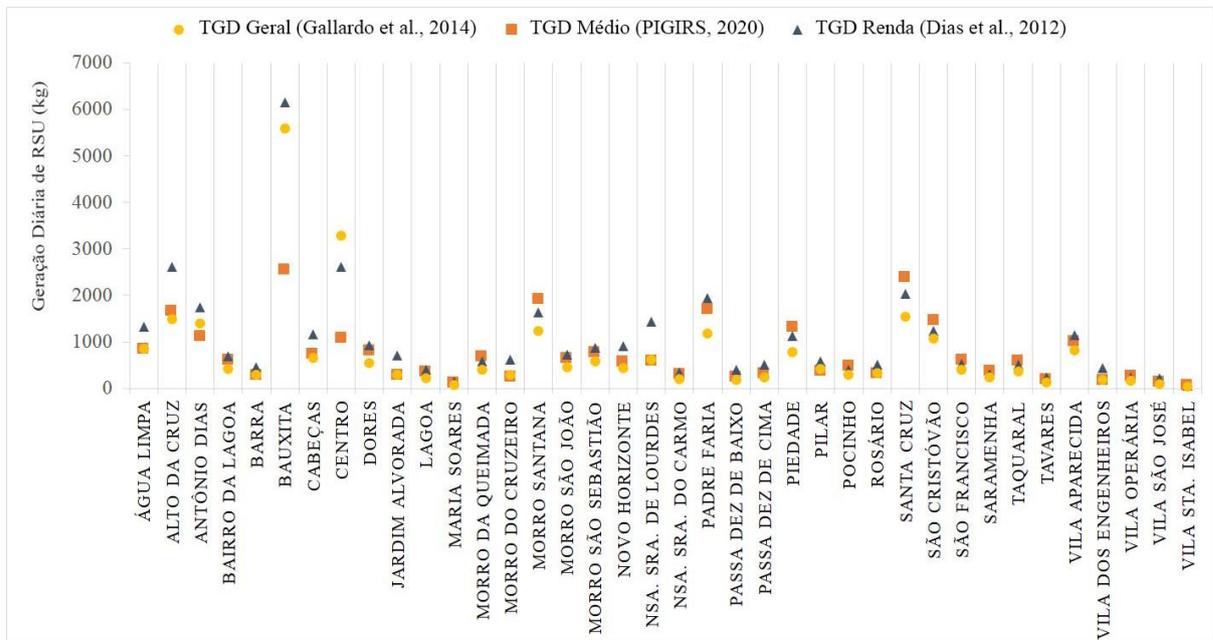


Fonte: Autor (2022).

O Gráfico 9 mostra a comparação de RSU gerado em cada bairro com relação a cada mapa criado neste tópico. É possível observar que a geração de RSU mantém a mesma proporção em grande parte dos bairros independente da metodologia analisada, com exceção

em bairros onde foi observada alta renda e alta quantidade de estabelecimentos comerciais como os bairros Centro, Alto da Cruz, Bauxita e Nossa Senhora de Lourdes.

Gráfico 9. Comparação entre as diferentes metodologias de estimação de Geração Diária de RSU.



Fonte: Autor (2022).

Dentre todos os resultados, o bairro Bauxita apresentou maior geração de RSU, indicando um possível impacto da presença da Universidade Federal de Ouro Preto no município. Ao se analisar a geração diária dos bairros, pôde-se concluir que a distribuição populacional foi o critério de extrema relevância na geoespacialização de resíduos, não devendo ser ignorada durante a gestão de RSU calculando-se apenas a taxa de geração per capita de RSU.

O fato de os bairros ao entorno do centro não apresentarem números relativamente elevados de geração de RSU pode ser consequência da não contabilização da população turística nos levantamentos populacionais do IBGE. Podendo ter sido estimado para estes bairros uma quantidade menor de RSU do que o observado na realidade.

A Tabela 11 apresenta o resumo de todos os valores de RSU diário observados em cada bairro a partir de cada metodologia avaliada.

Tabela 11 - RSU Gerado diariamente em cada bairro.

Bairros	RSU Gerado (Kg/dia)		
	TGD Geral Gallardo et al. (2014)	TGD Renda Dias et al. (2012)	TGD Médio PIGIRS (2020)
Água Limpa	856,13	852,04	1333,20
Alto da Cruz	1498,81	1670,33	2613,60
Antônio Dias	1392,93	1119,18	1751,20
Bairro da Lagoa	426,35	615,13	700,00
Barra	302,07	291,04	455,40
Bauxita	5591,82	2544,16	6152,30
Cabeças	655,10	743,77	1163,80
Centro	3291,59	1078,40	2607,80
Dores	548,88	817,59	930,40
Jardim Alvorada	286,17	291,04	703,80
Lagoa	228,48	355,72	404,80
Maria Soares	78,56	125,13	142,40
Morro da Queimada	395,62	679,10	579,60
Morro do Cruzeiro	287,69	255,19	617,10
Morro Santana	1231,27	1918,49	1637,40
Morro São João	456,66	645,35	734,40
Morro São Sebastião	576,12	766,97	872,80
Novo Horizonte	443,15	579,27	906,40
Nsa. Sra. de Lourdes	617,57	596,85	1443,30
Nsa. Sra. do Carmo	201,21	302,99	344,80
Padre Faria	1191,01	1700,56	1935,20
Passa Dez de Baixo	191,00	255,19	399,30
Passa Dez de Cima	238,33	321,97	503,80
Piedade	785,24	1318,13	1125,00
Pilar	414,43	378,21	591,80
Pocinho	289,20	480,15	409,80
Rosário	326,90	322,68	504,90
Santa Cruz	1543,82	2381,06	2032,20
São Cristóvão	1067,51	1454,51	1241,40
São Francisco	399,74	616,53	526,20
Saramenha	240,35	366,97	313,20
Taquaral	371,71	597,55	510,00
Tavares	131,97	203,17	231,20
Vila Aparecida	812,96	1013,73	1153,60
Vila dos Engenheiros	176,71	177,86	430,10
Vila Operária	166,08	272,76	232,80
Vila São José	102,51	138,49	216,70
Vila Sta. Isabel	35,62	60,46	51,60
Média	732,93	744,94	1013,24
Média Per Capita	0,692	0,703	1,000

Fonte: Autor (2022)

6. CONCLUSÕES

O uso do geoprocessamento atrelado a uma metodologia multicriterial de análise da geração de RSU apresentou resultados médios que se aproximam do observado na literatura, adicionando um maior detalhamento quanto a espacialização desta geração. Desta forma esta metodologia se mostrou como uma ferramenta útil no gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos principalmente em escopos com algumas particularidades observadas, como municípios com a economia voltada ao comércio e ao turismo, com alto índice de população flutuante ou com grande diferenciação de renda entre suas regiões.

Os critérios analisados neste trabalho apresentaram uma certa correlação entre eles, de forma que a renda, o índice de atividade econômica e a atratividade turística dos bairros fossem diretamente proporcionais na maioria dos bairros, explicando resultados próximos de geoespacialização ao se comparar diferentes metodologias. Isto pode ser resultado de uma reação em cadeia em que as áreas turísticas e universitárias atraem mais pessoas, estimulando o desenvolvimento do comércio local e uma maior valorização imobiliária.

Pela metodologia de Gallardo et. al (2014) possuir uma grande adaptabilidade, o modo como os coeficientes são definidos tem extrema relevância nos resultados obtidos, podendo apresentar diferenças significativas conforme as metodologias ou a base de dados utilizadas. No entanto, em regiões com distribuição populacional, renda, caracterização comercial e sazonal bem documentas, esta metodologia tende a apresentar um alto grau de reprodutibilidade, principalmente entre escopos que se utilizem das mesmas bases de dados.

Como resultado, esta metodologia foi considerada uma ferramenta útil para ao planejamento urbano, fornecendo informações que podem subsidiar o manejo adequado dos Resíduos Sólidos Urbanos, obtendo-se assim maiores benefícios econômicos e ambientais. Espera-se que em estudos futuros possam ser consideradas as diferenças gravimétricas entre os resíduos gerados e que os agrupamentos temporais e territoriais sejam menores, dando uma maior precisão e detalhamento aos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

ABEP. Critério de Classificação Econômica do Brasil. Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020. São Paulo - SP, dez, 2020.

ABREU & PALHARES. O Destino do Lixo. PUC, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://mundodaquimica.webnode.com.br/_files/200000024-c90d4ca09d/Lixo.pdf> Acesso em: 24/05/2022.

AMARAL e LANA. Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG). Caderno de Geografia, v.27, n.51, 2017.

BOCCHIGLIERI M.M. & PAGANINI S.W. O Novo Marco Legal do Saneamento: universalização e saúde pública. Revista USP, nº128, p.45-60, março, 2021.

BOHRER. A. História. Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2021. Disponível em: <<https://ouropreto.mg.gov.br/historia>> Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

BORBOA D. W.; et al. Geração de resíduos sólidos: Estudo em Padaria de Pequeno Porte. 3º Congresso Sul-Americano de RS e Sustentabilidade. Setembro de 2020.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília – DF, outubro, 1988.

BRASIL. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília – DF, fevereiro, 1998.

BRASIL. Política Nacional do Saneamento Básico. Estabelece as diretrizes para a política nacional de saneamento básico. Brasília – DF, Brasil, janeiro, 2007.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília – DF, Brasil, agosto, 2010.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília – DF, Brasil, julho, 2020.

CAJAZEIRA ET. AL. Uso da Compostagem em Sistemas Agrícolas Orgânicos. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, 2004.

CASTRO, A, T, P; PAULA F, S. Geomorfologia antropogênica em função da mineração de ouro no século XVIII: bases científicas e educativas na proposição de uma Trilha Geoturística Urbana na Sede no Município de Ouro Preto (MG). Revista Brasileira de Ecoturismo, São Paulo, v.8, n.4, p.432-443, mai/ago, 2015.

COMLURB. Companhia Municipal de Limpeza Urbana. Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares. Rio de Janeiro, março, 2015.

CUNHA & FILHO. Gerenciamento da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: Estruturação e Aplicação de Modelo Não-Linear de Programação Por Metas. Gestão e Produção, v9, nº 2, p.143-161, agosto, 2002.

DIAS D.M. et al. Modelo para estimativa da geração de Resíduos Sólidos Domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. Eng. Sanit. Ambient. v17 n3, p 235-332, setembro, 2012.

FECOMÉRCIO. Perfil Socioeconômico 2019 Ouro Preto. Belo Horizonte, MG. 2020.

FURLAN. Geoprocessamento: estudos de geomarketing e as possibilidades de sua aplicação no planejamento do desenvolvimento socioeconômico. GEOUSP – Espaço e Tempo, n29. São Paulo, 2011.

GALLARDO, A.; et al. Methodology to design a municipal solid waste generation and composition map: A case study. Waste Management. 34:1920-1931, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: Ouro Preto-MG. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-preto/panorama>> Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

JACINTO, C, A; ZOGAHIB, N, L, A. Política Pública De Resíduos Sólidos: Uma análise da lei nº 12.305/201 que institui a Política Nacional De Resíduos Sólidos – PNRS, por meio dos serviços executados pela Secretaria Municipal de Limpeza Pública – SEMULSP no Município de Manaus/AM. Revista de Administração de Roraima-UFRR, Boa Vista, Vol. 6 n. 2, p.520-510. jul. – dez., 2016.

KAN L. et al. Recuperação de Áreas Degradadas por Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos. Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana. Ano III, n. 5, jun. 2005.

KARADIMAS, N., LOUMOS, V.G. GIS-based modelling for the estimation of municipal solid waste generation and collection. Waste Management v. 26, p. 337– 346, 2008.

LOPES, D.C.N. et. al. Issues Concerning Composting of Organic Residues. Arch. Zootec., nº58, p59-85, 2009.

MANSUR, G. L.; MONTEIRO, J. H. R. P. O que é preciso saber sobre limpeza urbana. Centro de Estudos e Pesquisas Urbanas do IBAM em Convênio com a SNS. 2001.

MELARÉ, A. V. S; GONZÁLEZ, S. M; FACELI, K.; CASADEI, V. Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. Waste Management. v. 59, p. 567-584, 2017.

OLIVEIRA, D, L; SOBREIRA, G, F. Crescimento urbano de Ouro Preto-MG entre 1950 e 2004 e atuais tendências. Revista Brasileira de Cartografia, p. 867-876, 2015.

OLIVEIRA et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). Eng. Sanit Ambient, V18, nº 1, 2013.

ORNELAS, R, A. Aplicação De Métodos De Análise Espacial Na Gestão Dos Resíduos Sólidos Urbanos. UFMG, Belo Horizonte – MG, maio, 2011.

PASSINI, C. F. A. et al. Geração de Resíduos Sólidos: Estudo de Caso em Padaria de Pequeno Porte. Gramado, Rio Grande do Sul, setembro, 2020.

PEREIRA, C. I. Estudo Preliminar Sobre a Geração de Resíduos Sólidos Domiciliares Recicláveis em Repúblicas de Estudantes da Universidade Federal de Ouro Preto. Monografia (Engenharia de Produção), Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.

PEREIRA, M.P.; SOUZA, K.S. Política nacional de resíduos sólidos (PNRS): avanços ambientais e viés social nos municípios de pequeno porte. Ciências Sociais Aplicadas em Revista - UNIOESTE/MCR, v.17, n. 32, 2017.

PEREIRA NETO, J.T. Monitoramento da Eliminação de Organismos Patogênicos Durante a Compostagem de Resíduos urbanos e Lodo de Esgoto pelo Sistema de Pilhas Estáticas Aeradas. Eng. Sanit., nº 27, p148-152, 1988.

PESBMG. Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais. Produto 2 – Diagnóstico situacional Preliminar. Tomo III – Manejo de Resíduos Sólidos e Limpeza Urbana. Dezembro, 2020.

PGIRSU. Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. TCA, Prefeitura de Ouro Preto, 2007.

PIGIRS. Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Consórcio Intermunicipal do Vale do Piranga. Produto 01 - Plano de Trabalho. 2020a.

PIGIRS. Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Consórcio Intermunicipal do Vale do Piranga. Produto 05 - Relatório Consolidado do Diagnóstico para a Gestão Intermunicipal Consorciada. 2020b.

PIGIRS. Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Consórcio Intermunicipal do Vale do Piranga. Produto 05 – Apêndice II -Relatório dos estudos gravimétricos. 2020c.

PMGIRS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Produto 3. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos. Fundação RENOVA. Prefeitura Municipal de Mariana – MG. abril, 2019.

PHILLIP A. Sistema de Resíduos Sólidos: Coleta e Transporte no Meio Urbano. Dissertação para obtenção de Mestre em Saúde Pública pela USP. São Paulo, 1979.

QUIRINO, W.F. et.al. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. *Biomassa & Energia*, Viçosa, v.1, n.2, p. 173-182, abr./jun. 2004.

RADA, E.C., RAGAZZI, M., FEDRIZZI, P., 2013. Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. *Waste Management*. v. 33, p. 785–792, 2013.

REGINATTO C. et al. Evolução da Legislação Ambiental Brasileira Sobre Resíduos Sólidos. 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Março, 2019.

RIBER, C. et al. Method for fractional solid waste sampling and chemical analysis”, *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, v. 87, n. 5, p321-335. Abril, 2007.

SCHRÖDER T.N. et al. Plano de gestão de resíduos sólidos para uma rede de supermercados. XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Vitória - ES, novembro, 2020.

SOARES, F, S, L, E. Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos. UFRJ, maio, 2011.

SOARES, W. Perfil Socioeconômico 2020 de Ouro Preto revela pequena melhoria na cidade. Disponível em: <<https://www.aceop.com.br/noticia/1001/perfil-socioeconomico-2020-de-ouro-preto-revela-cenario-economico-antes-da-pandemia>> Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

TEIXEIRA, R. F. F. Compostagem. Educação Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável. Embrapa Informação Tecnológica, v.5, p.120-123. Brasília, 2002.

TCHOBANOGLIOUS, G. *Solid Wastes: Engineering Principles and Management*. Issues. Tokyo: McGraw-Hill, 1977.

VINÍCIUS, A. A Coleta Seletiva está de rota nova. Site da prefeitura de Ouro Preto. Disponível em: <<https://ouropreto.mg.gov.br/noticia/1414>> Acesso em: 29/05/2022.

XAVIER-DA-SILVA, J. 2016, Geoprocessamento no Apoio à Decisão. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 5, nº 9, 2016.