

ESTUDO DO PLANEJAMENTO DA LOCALIZAÇÃO DE ECOPONTOS PARA A COLETA SELETIVA COM O AUXÍLIO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E P-MEDIANAS NA CIDADE DE MONTES CLAROS – MG

PLANNING STUDY OF THE LOCATION OF ECO-POINTS FOR SELECTIVE COLLECTION WITH THE AID OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND P-MEDIANS IN THE CITY OF MONTES CLAROS - MG

ESTUDIO DE PLANIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE ECOPUNTOS PARA RECOLECCIÓN SELECTIVA COM AYUDA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y P-MEDIANAS EN LA CIUDAD DE MONTES CLAROS – MG

Júnia Maria Gonçalves Caetano¹ <https://orcid.org/0009-0007-7119-2694>

André Leite Guerra² <https://orcid.org/0000-0001-5694-3719>

Narciso Ferreira dos Santos Neto³ <https://orcid.org/0000-0002-1742-3515>

Davi Souza Santos⁴ <https://orcid.org/0009-0002-0836-5760>

João Batista Mendes⁵ <https://orcid.org/0000-0002-8257-2891>

Amanda Evellyn da Silva Andrade⁶ <https://orcid.org/0009-0000-0613-717X>

Walber Franklin Rodrigues Pinheiro⁷ <https://orcid.org/0009-0002-7673-867X>

RESUMO

Com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos se tornou obrigatória a implantação de programas eficientes de coleta seletiva ou a melhoria dos já existentes. Para que esses programas se

¹ Mestrado em Modelagem Computacional e Sistemas pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Graduação em Engenharia Civil pelas Faculdades Integradas do Norte de Minas (FUNORTE). E-mail: juniamariaa2@unimontes.br

² Mestrado em Geotecnia e Transportes pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atuação como Professor no Departamento de Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-MG). E-mail: andreguerra@gmail.com

³ Doutorado em Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Mestrado em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) e Graduação em Engenharia Civil pela Fundação Educacional Minas Gerais (FEMG). Atuação como Professor nos Programas de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). E-mail: narciso.ferreira@unimontes.br

⁴ Graduando em Sistemas de Informação pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). E-mail: davi.ssantosads2@gmail.com

⁵ Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Graduação em Ciências Contábeis pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). Atuação como Professor nos Programas de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). E-mail: joao.mendes@unimontes.br

⁶ Mestranda em Modelagem Computacional e Sistemas e Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). E-mail: amandaevellyn8@gmail.com

⁷ Mestrando em Modelagem Computacional e Sistemas pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Graduação em Química pelas Faculdades Prisma. E-mail: walber17@gmail.com

tornem eficientes, é essencial ajustar o projeto a realidade local e gerar regularidade no funcionamento da logística implantada, no qual, o uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) auxilia na tomada de decisões logística. Neste trabalho objetiva-se apontar possíveis localizações para instalação de Ecopontos de coleta seletiva na cidade de Montes Claros - MG utilizando o SIG TransCAD. Para realização do trabalho foi utilizado um arquivo em *shapefile* no TransCAD, com os pontos de coleta georreferenciados. Para localizar os Ecopontos necessários por região, foi aplicado o modelo de P-mediana, com cálculo prévio da quantidade dos pontos de coleta usando a metodologia de Peixoto *et al.* (2006). O modelo proposto mostra 4 cenários gráficos distintos para implantação dos Ecopontos por região, conforme a evolução nos números de materiais recicláveis coletados. Além da localização dos Ecopontos também foi realizada a roteirização dos veículos coletores para dois dos cenários. Foi otimizado o número e a localização de Ecopontos com menor distância dos geradores de materiais recicláveis, permitindo maior adesão dos usuários.

Palavras-chave: Coleta seletiva. Roteirização. Logística. Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

With the establishment of the National Solid Waste Policy, the implementation of efficient selective collection programs or the improvement of existing ones became mandatory. For these programs to become efficient, it is essential to adjust the project to the local reality and generate regularity in the operation of the implemented logistics, in which the use of a Geographic Information System (GIS) assists in making logistical decisions. This work aims to point out possible locations for the installation of selective collection points in the city of Montes Claros - MG using GIS TransCAD. To carry out the work, a *shapefile* in TransCAD was used, with the collection points georeferenced. To locate the necessary Ecopoints per region, the P-median model was applied, with prior calculation of the number of collection points using the methodology of Peixoto *et al.* (2006). The proposed model shows 4 different graphical scenarios for implementing Ecopoints per region, according to the evolution in the number of recyclable materials collected. In addition to locating the Ecopoints, the routing of collection vehicles for two of the scenarios was also carried out. The number and location of Ecopoints were optimized with less distance from generators of recyclable materials, allowing greater user adoption.

Keywords: Selective collect. Scripting. Logistics. Geographic Information System.

RESUMEN

Con el establecimiento de la Política Nacional de Residuos Sólidos, se hizo obligatoria la implementación de programas eficientes de recolección selectiva o el mejoramiento de los existentes. Para que estos programas sean eficientes es fundamental ajustar el proyecto a la realidad local y generar regularidad en la operación de la logística implementada, en la que el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) coadyuva en la toma de decisiones logísticas. Este trabajo tiene como objetivo señalar posibles ubicaciones para la instalación de puntos de recogida selectiva en la ciudad de Montes Claros - MG utilizando GIS TransCAD. Para realizar el trabajo se utilizó un *shapefile* en TransCAD, con los

puntos de recolección georreferenciados. Para localizar los Ecopuntos necesarios por región se aplicó el modelo P-mediana, previo cálculo del número de puntos de captación mediante la metodología de

Peixoto et al. (2006). El modelo propuesto muestra 4 escenarios gráficos diferentes de implementación de Ecopuntos por región, según la evolución del número de materiales reciclables recogidos. Además de localizar los Ecopuntos, también se realizó el ruteo de vehículos recolectores para dos de los escenarios. Se optimizó el número y ubicación de los Ecopuntos con una menor distancia de los generadores de materiales reciclables, permitiendo una mayor adopción por parte de los usuarios.

Palabras clave: Recogida selectiva. Guiones. Logística. Sistema de información geográfica.

INTRODUÇÃO

A separação de materiais recicláveis (vidros, metais, papéis e plásticos) do restante dos resíduos sólidos é conhecida como coleta seletiva, sendo considerada uma prática ecologicamente correta para reduzir o desperdício e proteger o meio ambiente, proporcionando benefícios econômicos e sociais. Essa prática tem como objetivos principais: melhorar as condições ambientais e de saúde pública, reduzindo a extração de recursos para produção de novos materiais (Rada *et al.*, 2014); geração de emprego e renda para catadores que vendem o material coletado (Oliveira; Lima, 2011), e, incentivo a inclusão social de indivíduos por meio da formação de associações e cooperativas de coletores; extensão da vida útil dos aterros sanitários; e, redução dos gastos com a recuperação de áreas degradadas por causa da má disposição do lixo (Silva *et al.*, 2018).

A implementação eficiente de um programa de coleta seletiva emerge como uma estratégia promissora para contribuir significativamente com a dinâmica dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). A Agenda 2030 foi criada por líderes de 193 países, em setembro de 2015, como uma resposta abrangente aos desafios globais, com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável do planeta, integrando as dimensões ambientais, sociais e o desenvolvimento industrial e tecnológico (Marques, 2019). Os programas de coleta seletiva desempenham um papel crucial em vários dos 17 ODS, visto que, promove a sustentabilidade ambiental, a redução das desigualdades e o consumo responsável.

Para que a coleta seletiva seja eficiente, aspectos como frequência, local, horário e a forma da coleta devem ser bem planejados e administrados (Brasileiro; Lacerda, 2008). O uso de ferramentas computacionais, como Sistema de Informação Geográfica (SIG), contribui no planejamento e tomada de decisões da coleta seletiva, propondo melhores rotas e minimizando o trajeto do veículo coletor para obter eficiência no transporte. De tal forma, o SIG é uma excelente técnica de roteirização de veículos, sendo processados dados georeferenciados e

alfanuméricos de transportes, localizações e rotas, por meio de análises espaciais geográficas (Lima *et al.*, 2009).

O planejamento e a estruturação de um sistema logístico de coleta seletiva é uma tarefa complexa, sendo necessário o dimensionamento de muitas variáveis, no qual, se torna ainda mais complicado se realizado sem o uso de ferramentas computacionais. Quando mal planejada, a coleta gera prejuízos e reclamações, encarecendo o transporte, prejudicando o tratamento e a disposição final (Junior; Filho, 2010). A quantidade e qualidade do material reciclável, impacto ambiental, custos, tempo de operação e outras questões podem ser afetadas por decisões relacionadas às atividades de coleta e transporte do material reciclável (Oliveira *et al.*, 2014).

A coleta seletiva pode ser realizada pelas modalidades Porta-a-porta e/ou por Pontos de Entrega Voluntária (PEV), também conhecidos como Ecopontos. A modalidade Porta-a-porta é atendida por veículos especializados recolhendo o material reciclável de porta em porta, no qual a população previamente separa os materiais em seus domicílios; e, na modalidade conhecida como Ecopontos, a população leva o material separado para um ponto de coleta (Bernardo; Lima, 2017). De acordo com a CEMPRE (2023), a coleta seletiva nas cidades brasileiras, é realizada por uma das duas modalidades, ou pela combinação de ambas. Entretanto, independente da modalidade de coleta adotada, a educação ambiental é essencial para que a população seja incentivada a participar.

A modalidade de coleta seletiva está diretamente relacionada com os roteiros a serem realizados pelo veículo coletor, no qual, esse processo de determinação das rotas que o veículo coletor passará é chamado de roteirização ou roteamento. Durante a roteirização da coleta, a distância, o custo e o tempo total de coleta devem ser minimizados para que seja um processo viável (Oliveira *et al.*, 2014).

De acordo com Lorena *et al.* (2001), levando em consideração dados espaciais e socioeconômicos, os SIGs podem ser usados para resolver problemas complexos de localização de facilidades por meio do problema clássico das P-medianas. Esse problema pode ser utilizado entre diversas aplicações quanto ao auxílio em tomadas de decisões em função da localização de escolas, postos de saúde, corpo de bombeiros, ambulâncias, viaturas de polícia, pontos de ônibus, assim como para Ecopontos e entre outros.

Conforme Larson e Odoni (1981), o problema das P-medianas tem como objetivo localizar p facilidades em uma rede, buscando minimizar a distância total entre as p facilidades e os n locais de demanda. De acordo com Pereira (2005), a aplicação do modelo de P-medianas busca encontrar a melhor configuração que reduza o custo mínimo de instalações e que atenda a demanda dos clientes, em uma rede conectada por um número finito de caminhos.

O objetivo desse estudo é indicar possíveis localizações para instalação de Ecopontos para a coleta seletiva na cidade de Montes Claros - MG utilizando o SIG TransCAD, com o intuito em reduzir os custos financeiros e os impactos ambientais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo em questão é classificado como uma pesquisa aplicada, no qual, conforme Gil (2012) esse tipo de pesquisa é voltada para estudos com intuito em adquirir conhecimentos e aplicar em resolução de problemas encontrados na sociedade. Em relação aos fins é classificado como um estudo exploratório descritivo já que torna o problema explícito, usando revisão de literatura dos temas para compreensão do trabalho e estabelece relações entre variáveis, avaliando as mudanças de roteirização conforme alterações em parâmetros do sistema. Em relação aos meios é classificada como pesquisa documental, sendo necessários dados para a execução do trabalho, no qual, os documentos para obtenção dos dados são levantamentos realizados por institutos, legislações, sites governamentais, etc. A pesquisa ainda possui características do método de modelagem e simulação computacional, que visa experimentar modelos físicos por um modelo matemático computadorizado para observar o comportamento do sistema sem que seja necessário modificá-lo e/ou construí-lo (Martins *et al.*, 2013).

Dentro deste contexto a metodologia utilizada foi pesquisa-ação que é uma abordagem metodológica que combina pesquisa e ação prática para gerar conhecimento e promover a mudança social. Conforme apresentado por Coghlan e Shani (2014), essa abordagem visa criar conhecimento por meio da colaboração entre pesquisadores e praticantes, permitindo que os resultados da pesquisa sejam aplicados diretamente na resolução de problemas e na melhoria das condições existentes. Eles destacam que a pesquisa em ação envolve uma série de etapas interligadas: análise detalhada da situação ou do problema a ser abordado, com coleta de dados e informações relevantes sobre, identificando os desafios enfrentados e as necessidades existentes; a co-criação de soluções e intervenções em colaboração entre pesquisadores e praticantes; e a avaliação e reflexão, no qual, os pesquisadores refletem sobre os resultados obtidos. A pesquisa em ação é um processo iterativo, o que significa que as etapas de análise, co-criação, implementação e avaliação são repetidas várias vezes, permitindo que a pesquisa evolua e se adapte ao longo do tempo.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi a cidade de Montes Claros - MG, situado na Bacia do Alto Médio São Francisco e na mesorregião do Norte de Minas Gerais. Em dezembro de 2019, a Prefeitura municipal de Montes Claros realizou o chamamento público 005/2019, com o objetivo em estabelecer parcerias com organizações da sociedade civil, compostas por pessoas de baixa renda, para implementar a coleta seletiva de materiais recicláveis no município, por meio do projeto "Recicla aos Montes", instituído pela Lei 5.182/2019 (Montes Claros, 2019).

O projeto "Recicla aos Montes" foi implantado, em março de 2020, atendendo a área urbana do município. Após a implementação, uma parcela dos resíduos, os materiais recicláveis, tiveram como destinação as associações de catadores, onde são separados de acordo com o tipo, acondicionados e comercializados para agentes da cadeia produtiva da reciclagem (Montes Claros, 2015). De acordo com a SMSU, no município de Montes Claros, segundo dados divulgados pelo Edital 05/2019, cerca de 30% do total de resíduos sólidos coletados mensalmente têm potencial para reciclagem (Montes Claros, 2019). Apesar deste potencial, após implantação do projeto, o percentual de materiais recicláveis foi de 0,13%, 0,57% e 0,25%, nos anos 2020, 2021 e 2022, respectivamente, conforme dados coletados no Residômetro disponível em acesso aberto (Montes Claros, 2023).

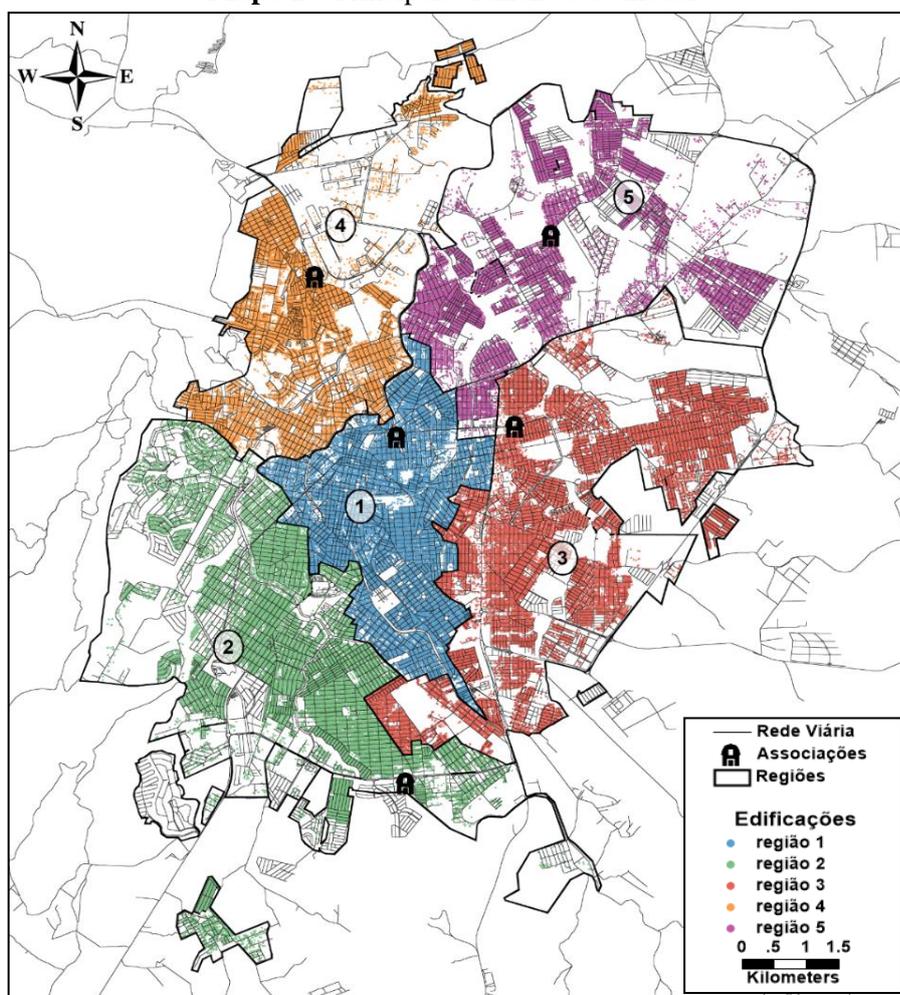
A prefeitura dividiu a cidade em cinco regiões de área de atuação de coleta, cada uma composta por um conjunto de bairros, no qual, cada região é atendida por uma organização de catadores, buscando atendê-las na prestação de serviços de coleta seletiva. O projeto-piloto de coleta seletiva da Prefeitura iniciou-se pelos prédios públicos municipais, edifícios residenciais e condomínios horizontais e verticais, passando ao atendimento porta-a-porta no bairro Jardim Liberdade. Após a adesão do programa, a Prefeitura procede com ações de educação ambiental, para despertar a tomada de consciência dos moradores sobre a correta separação dos materiais. Atualmente, 75 condomínios residenciais participam do programa.

Após acondicionados, os resíduos recicláveis são transportados pelos veículos coletores da Prefeitura desde o ponto da geração até os galpões de triagem das organizações de catadores de Montes Claros – MG participantes do “Recicla aos Montes”. A coleta seletiva é realizada conforme demanda, por intermédio de contato em aplicativos de comunicação digital, no qual, a Prefeitura não dispõe de rotas com dias, turnos e horários definidos.

ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS PARA A MODELAGEM DE TRANSPORTE

O modelo de transporte foi estruturado em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o *software* TransCAD, versão 8.0. Foram usadas bases em *shapefile* atualizadas com os dados para modelagem do problema. As camadas geográficas utilizadas foram: Rede Viária do município de Montes Claros, composta por 21.082 links e 13.859 nós; as Edificações da área urbana, contendo um ponto para cada imóvel, totalizando 131.864 registros de potenciais geradores de materiais recicláveis na cidade; os Setores Censitários do município, com 42 setores rurais e 372 urbanos; e as cinco Associações/Cooperativas de Catadores da cidade com a localização pontual e a área de abrangência de cada uma. O Mapa 1 mostra os principais elementos do modelo estruturados no ambiente SIG.

Mapa 1 – Principais elementos do modelo



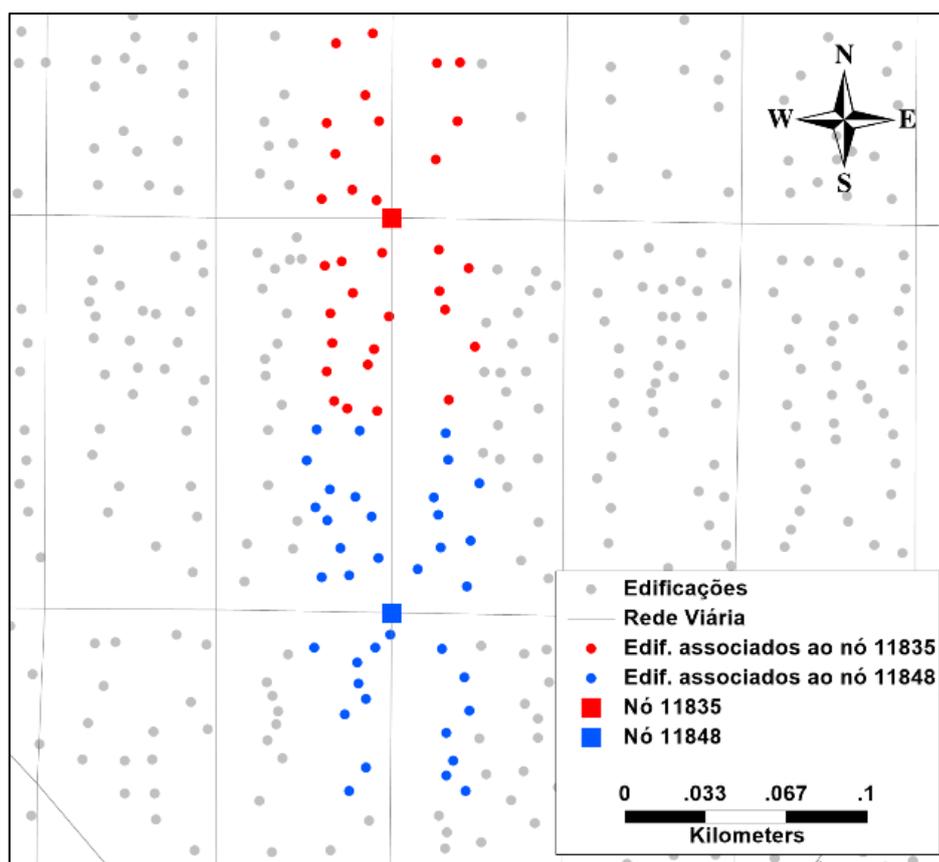
Fonte - Adaptado de MONTES CLAROS – Secretaria Municipal de Serviços Urbanos, 2021.

Apesar da disponibilidade de dados detalhados no nível das edificações, o modelo foi baseado na rede viária, sendo adotados, portanto, os nós como menores unidades espaciais. Essa agregação dos pontos de coleta domiciliares possibilitou a simplificação do modelo, com a redução de 131.864 imóveis para 13.859 nós, e, conseqüentemente, a redução do tempo de processamento dos cálculos.

ASSOCIAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES À REDE VIÁRIA

A atribuição das edificações aos nós foi feita por critério de distância. Assim, cada edificação foi associada ao nó mais próximo, tomando-se como referência a distância euclidiana. A Figura 1 ilustra o exemplo dos nós 11.835 e 11.848 com as edificações associadas aos mesmos.

Figura 1 – Exemplo de atribuição das edificações aos nós da rede



Fonte – Org. Autores (2023).

Com a associação estabelecida entre as edificações e os elementos da rede viária, foi possível trocar informações entre essas camadas como a quantidade de imóveis por nós, quantidade de habitantes, produção de material reciclável, dentre outras.

Cálculo da produção de material reciclável

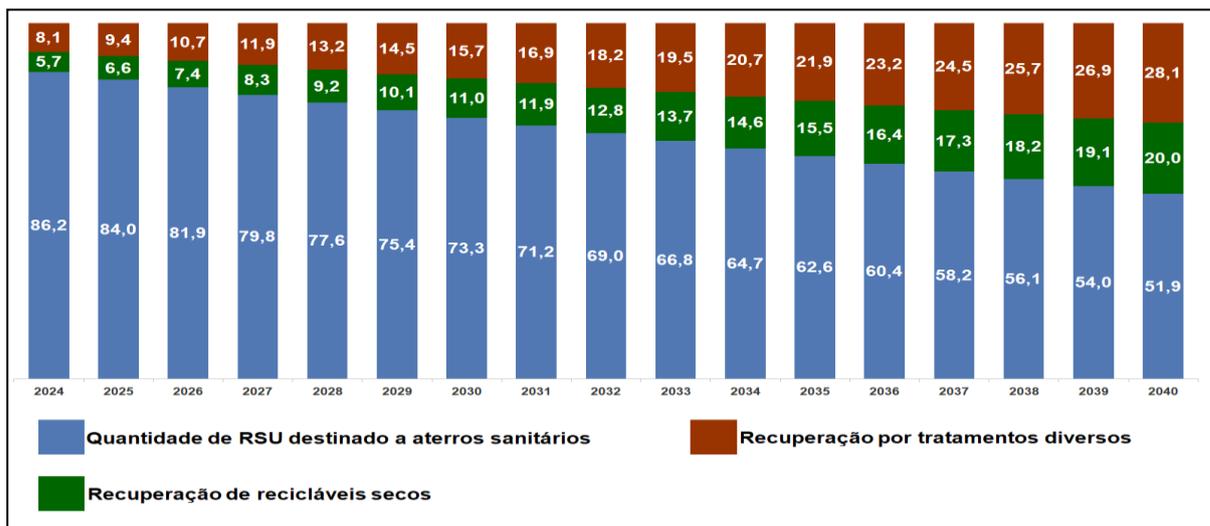
Segundo Da Cruz (2021), a cidade de Montes Claros possui média de geração de resíduos sólidos *per capita* de 0,55kg/habxdia, no qual, a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, indica que 34,98% da produção de resíduos sólidos é composta de material reciclável. De tal modo, a produção de material reciclável com base na taxa do potencial de reciclagem *per capita* é de 0,19kg/habxdia.

A diferença aproximada de 29,68% dos materiais que não foram reciclados – valor este obtido entre a média do que foi coletado nos anos 2020, 2021 e 2022 (Montes Claros, 2023) e o potencial de reciclagem (Montes Claros, 2019) – demonstra que é necessário um planejamento logístico e educação ambiental para que a coleta seletiva se aproxime do potencial de reciclagem. De tal forma, este trabalho busca mostrar cenários de projeção atual e futura para a implantação de Ecopontos, conforme o aumento gradativo da disponibilidade de materiais recicláveis pela população, usando como referência pesquisa realizada pela ABRELPE.

Planejamento de implantação dos Ecopontos

De acordo com Gandra (2022), o percentual que é reciclado atualmente no Brasil, correspondente a 4% dos resíduos coletados. Em Montes Claros, a execução da coleta seletiva pelo programa “Recicla aos Montes” é recente, e se apresenta distante de sua capacidade de reciclagem e do percentual de reciclagem no Brasil. A ABRELPE publicou em 2022, um gráfico demonstrando a projeção futura de evolução da coleta seletiva a partir dos anos 2024 até os anos 2040, conforme gráfico 1. Entretanto, mesmo evoluindo, o país se encontra distante de toda sua potencialidade de reciclagem, correspondente a 35% (Brasil, 2020).

Gráfico 1 – Metas do Planares por tipo de destinação final de resíduos sólidos urbanos (%)



Fonte - Adaptado de ABRELPE (2020).

De tal modo, foi elaborado um planejamento com implantação gradativa dos Ecopontos na cidade. São propostos 4 cenários de evolução, o primeiro para suprir a demanda que é reciclada atualmente no Brasil (correspondente a 4% dos RSU coletados), até o cenário para suprir 50% de demanda da cidade em função do potencial (aproximadamente 17,5% dos RSU coletados). O último cenário apresenta valor próximo à meta de reciclagem no ano de 2037 conforme a projeção da ABRELPE. Os outros dois cenários foram escolhidos levando-se em consideração as Metas do Planares para os anos 2027 e 2032, correspondentes a 8,3% e 12,8%, respectivamente, dos resíduos sólidos coletados. Para determinar a produção nos pontos da rede viária, foi necessário encontrar a distribuição da população no território do município, considerando a população dos setores censitários.

ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO DE 2022 POR SETOR CENSITÁRIO

A última contagem da população desagregada ao nível dos setores censitários feita no Brasil refere-se ao censo de 2010, assim for necessário estimar os valores para um período mais recente visto que a população do município passou de 361.971 habitantes em 2010 para 414.240 em 2022 (IBGE, 2023). A atualização da população dos setores para o ano de 2022 foi feita considerando-se crescimento homogêneo de 14,44%. A população agrupada nas regiões de atuação das associações é apresentada na Tabela 1.

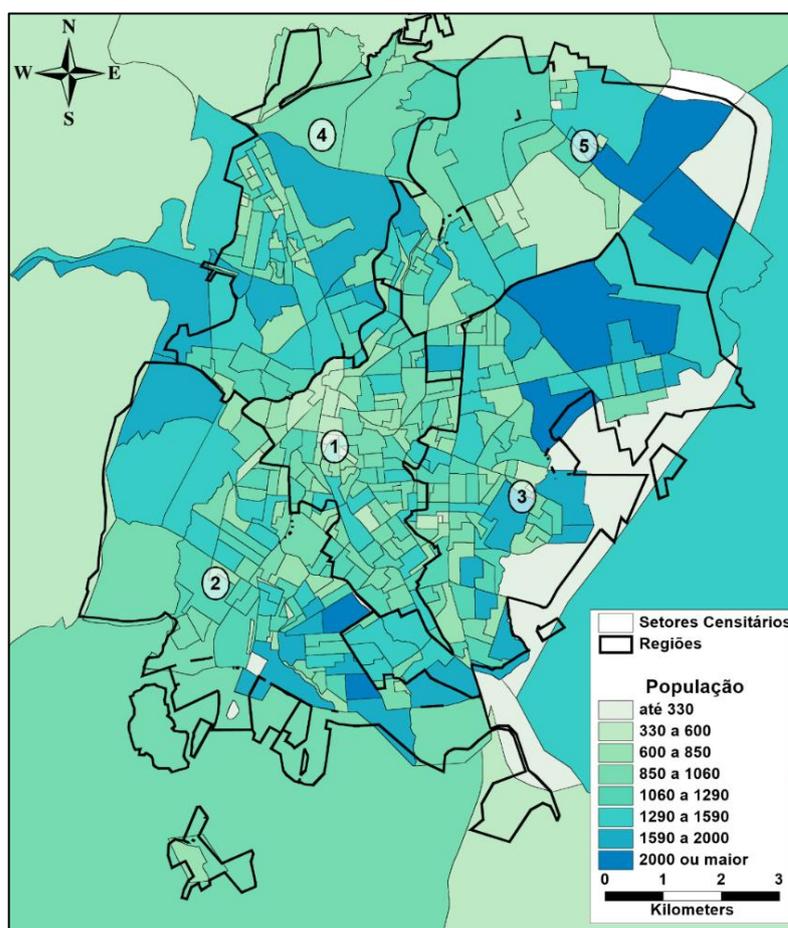
Tabela 1 – População 2010 e 2022 por região

REGIÃO	POPULAÇÃO 2010	POPULAÇÃO 2022
1	81.202	92.927
2	74.580	85.349
3	86.693	99.212
4	56.458	64.610
5	42.151	48.238
Total	341.084	390.336

Fonte - Adaptado de IBGE (2023).

Os totais apresentados na tabela são inferiores aos valores da população do Município pois existem setores censitários rurais que estão fora da área de estudo objeto deste trabalho. As populações por setor censitário obtidas foram mapeadas conforme mostrado no Mapa 2.

Mapa 2 – População estimada para 2022 por setor censitário

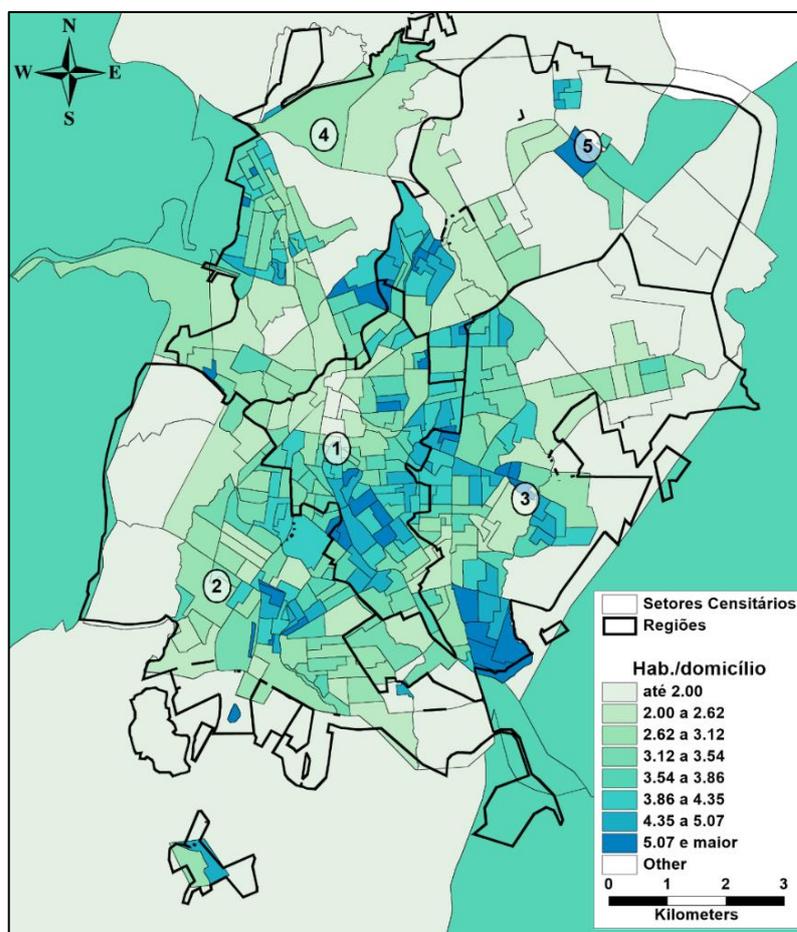


Fonte - Comex Stat, 2020. Org. PEREIRA, L. A. G., 2020.

Cálculo do número de habitantes por domicílio

O número de habitantes por domicílio foi calculado por setor censitário a partir das populações estimadas para 2022 e da quantidade de edificações em cada setor. Considerou-se que cada edificação corresponde a um domicílio, o que é razoável de se assumir visto que em Montes Claros são poucas as edificações multifamiliares. Os resultados por setor censitário são apresentados no Mapa 3.

Mapa 3 – Estimativa do número de habitantes por domicílio (2022) – Média por setor censitário



Fonte - Comex Stat, 2020. Org. PEREIRA, L. A. G., 2020.

Observa-se a distribuição heterogênea da densidade populacional dos domicílios, com pontos de maior concentração na região 1, ao sul da região 3 e na divisa entre as regiões 4 e 5. Os valores médios por região (Tabela 2) mostram que a região com maior densidade é a região 1.

Tabela 2 – Número de habitantes por região

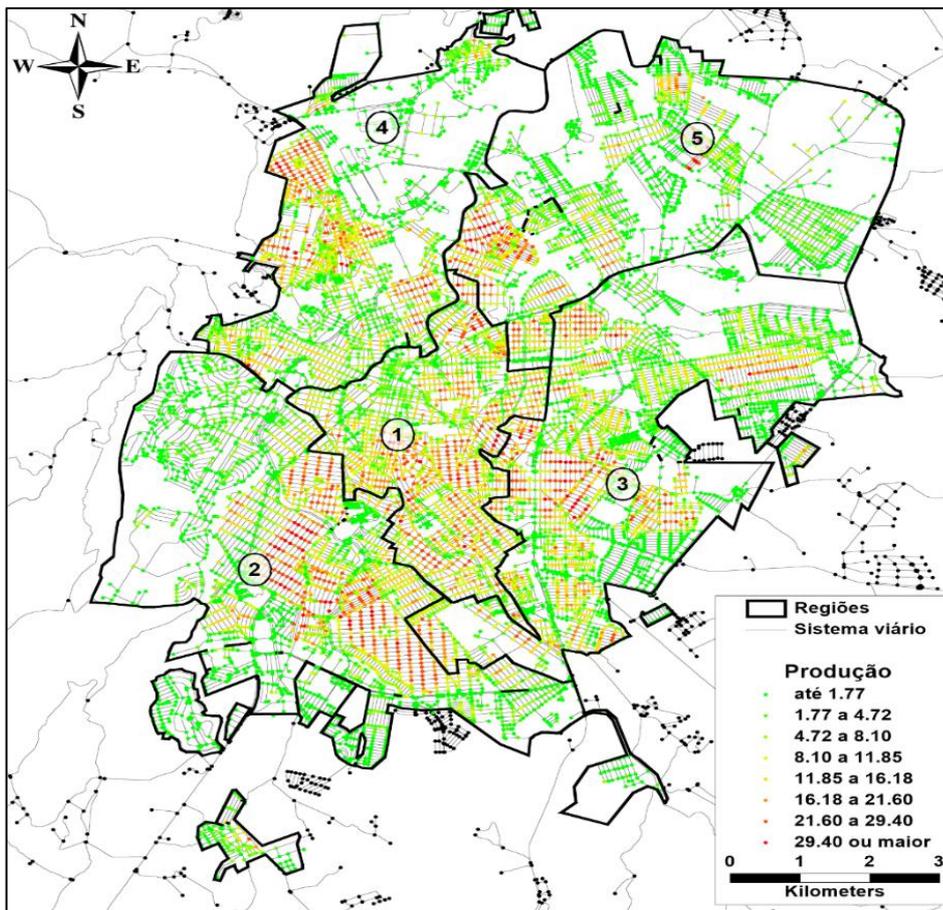
REGIÃO	POPULAÇÃO 2022	EDIFICAÇÕES	HABITANTES/DOMICÍLIO
1	92.927	26.196	3,55
2	85.349	29.379	2,91
3	99.212	34.647	2,86
4	64.610	21.288	3,04
5	48.238	20.354	2,37
Total	390.336	131.864	2,96

Fonte - Adaptado de IBGE (2023)

Estimativa da produção de resíduos e material reciclável nos pontos da rede viária

O número de habitantes calculado por setor censitário foi atribuído às edificações. Dessa forma, chegou-se ao número de indivíduos de cada edificação em função do valor do setor censitário correspondente. Com isso, foi possível determinar a produção de resíduos e de material reciclável por edificação considerando-se a geração de resíduos sólidos de 0,55kg/hab. dia e a taxa do potencial de reciclagem de 0,19kg/hab. dia pela quantidade de habitantes. Os resultados foram agregados aos nós da rede viária para uso na modelagem. A produção de material reciclável associada aos nós da rede é mostrada no Mapa 4.

Mapa 4 – Produção de material reciclável por nó da rede



Fonte - Adaptado de Da Cruz (2021) e IBGE (2023).

Os valores médios por região e geral são apresentados (Tabela3)

Tabela 3 – Produção de material reciclável por região

REGIÃO	POPULAÇÃO 2022	PRODUÇÃO DE MATERIAL RECICLÁVEL (KG/DIA)
1	92.927	17.656
2	85.349	16.216
3	99.212	18.850
4	64.610	12.276
5	48.238	9.165
Total	390.336	74.164

Fonte - Adaptado de Da Cruz (2021) e IBGE (2023).

Cálculo da quantidade demandada de Ecopontos

Para quantificar o número de Ecopontos demandados em cada uma das cinco regiões, foi utilizada a metodologia de Peixoto *et al.* (2006), conforme Equação 1:

$$N_{PEV} = \frac{Q_{rT}}{C_c \cdot f} \quad (1)$$

De acordo com a equação acima, N_{PEV} indica o número de PEVs/Ecopontos a serem instalados, Q_{rT} representa a quantidade total de recicláveis geradas semanalmente (toneladas), C_c é a capacidade de carga do *contêiner* (toneladas), e f indicada a frequência de coleta, em vezes por semana.

A quantificação dos Ecopontos foi calculada considerando em cada Ecoponto a instalação de 6 contêineres plásticos com capacidade de 200 litros cada, visto que, os custos de recipientes maiores, como os de 1100 litros é desvantajoso do ponto de vista dos custos de aquisição, enquanto os recipientes menores podem ser até duas vezes mais barato (Nevrlý *et al.*, 2021). Em cada Ecoponto serão instalados 2 contêineres para papel, 2 para plástico, 1 para metal e 1 para vidro. A quantidade de contêineres escolhida para cada Ecoponto tem relação com a composição gravimétrica dos materiais recicláveis no Brasil realizado pelo CEMPRE, sendo 45,9%, 15,6%, 9,1% e 7,1% dos materiais recicláveis, compostos por papel e papelão, plásticos, vidros e metais, respectivamente (CEMPRE, 2018).

A metodologia de Peixoto considera a capacidade de carga do contêiner em toneladas, de tal modo, foi necessário realizar a conversão de unidade em função do tipo de resíduo. Foram consideradas as densidades: 59 kg/m³ para o papel, 64 kg/m³ para o plástico, 169 kg/m³ para o vidro (Tchobanoglous *et al.*, 1993) e 253 kg/m³ para o metal (Vasconcelos; Lemos, 2015). Após conversão, considerou-se a capacidade de 133,6 kg de material reciclável para cada Ecoponto, e, uma frequência de coleta de três vezes semanalmente por região, seguindo a mesma frequência da coleta dos resíduos sólidos urbanos.

Conforme mencionado anteriormente, foram estudados 4 cenários variando-se o nível de material reciclável. O primeiro com a previsão da instalação de Ecopontos que atendessem a coleta de materiais recicláveis na cidade, de acordo com o estado atual do Brasil, correspondente a 4% dos resíduos coletados. Os demais cenários, 2, 3 e 4, foram definidos considerando-se maiores percentuais de material reciclável na composição dos resíduos sólidos gerados, correspondendo a 8,3%, 12,8% e 17,5%.

Para cada um dos cenários foi calculada a geração semanal de material reciclável, levando-se em conta a geração total de resíduos sólidos (baseada na média *per capita* de 0,55kg/habxdia) e os percentuais de reciclagem atribuídos a cada cenário. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Número de habitantes por região

Região	População 2022	Geração de Resíduos (kg/semana)	Produção de Material Reciclável (kg/semana)			
			Scenários 1 (4%)	Cenário 2 (8,3%)	Cenário 3 (12,8%)	Cenário 4 (17,5%)
1	92.927	357.769	14.310,76	29.694,82	45.794,43	61.796,46
2	85.349	328.594	13.143,75	27.273,27	42.059,99	56.757,09
3	99.212	381.966	15.278,65	31.703,19	48.891,67	65.975,98
4	64.610	248.749	9.949,94	20.646,13	31.839,81	42.965,65
5	48.238	185.716	7.428,65	15.414,45	23.771,69	32.078,27
Total	390.336	1.502.794	60.111,74	124.731,87	192.357,58	259.573,44

Fonte - Adaptado de Da Cruz (2021), ABRELPE (2022), IBGE (2023) e Org.: Autores (2023).

Uma vez definida a produção de material reciclável para os 4 cenários, foi calculada a quantidade de Ecopontos (Tabela 5) necessária para atender a demanda de cada região considerando-se a frequência de coleta de três vezes por semana e a capacidade de cada Ecoponto de 133,6kg.

Tabela 5 – Quantidade demandada de Ecopontos por região e cenário

Regia	Quantidade de Ecopontos			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
1	36	75	115	155
2	33	69	105	142
3	39	80	122	165
4	25	52	80	108
5	19	39	60	81
Total	152	315	482	651

Fonte – Org. Autores (2023).

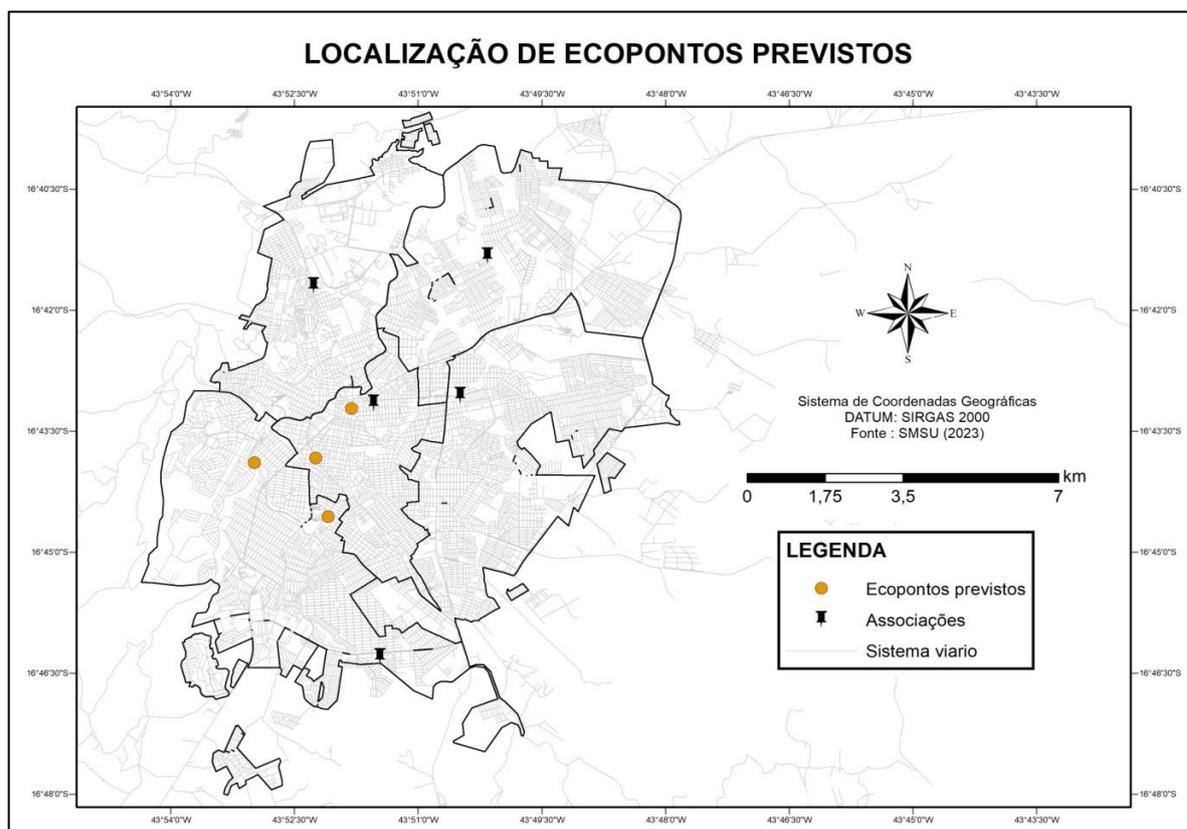
Planejamento atual para instalação de Ecopontos

De acordo com a SMSU existe um projeto para a instalação dos primeiros Ecopontos para iniciar a modalidade de coleta seletiva na cidade. Serão instalados 4 Ecopontos com mesma capacidade do trabalho proposto, com o intuito em atender toda a população para que tenham acesso ao programa.

Em 26 de Outubro de 2021, foi sancionada a Lei Complementar nº 84, que criou o Ecocrédito de Reciclagem no Município, conhecido como ECO-RECICLA. Se trata de um crédito ambiental para incentivar as pessoas físicas residentes em Montes Claros a praticarem a coleta seletiva de resíduos recicláveis. Os munícipes receberão crédito, por quilo de resíduo reciclável depositado nos Ecopontos oficiais do Município, a ser utilizado, exclusivamente, no pagamento da Taxa de Limpeza de Resíduos Sólidos (TLRS).

Apesar do planejamento para início de implantação da modalidade, os locais previstos para instalação dos Ecopontos se concentram em regiões próximas, conforme Mapa 5, não atendendo a população mais distante.

Mapa 5 – Localização de Ecopontos previstos a serem instalados



Fonte - Adaptado de SMSU (2023).

A instalação dos primeiros Ecopontos na cidade, apesar de não atender 100% da população devido a quantidade e às localizações das instalações, pode ser o início de um planejamento gradativo buscando atender um número maior de habitantes.

LOCALIZAÇÃO DOS ECOPONTOS

A localização dos ecopontos foi realizada por meio de um modelo de Localização de Facilidades do TransCAD, versão 8.0. O modelo é utilizado para identificar a melhor localização de uma ou mais facilidades a partir de um conjunto de locais possíveis. O TransCAD fornece quatro tipos de problemas de localização de facilidades que são classificados de acordo com o seu objetivo (Caliper, 2017): minimização do custo médio de serviço; minimização do custo mais alto de serviço; maximização do custo mais baixo de serviço e maximização do lucro.

Neste estudo foi utilizada a opção de minimização do custo médio de serviço que corresponde ao modelo de p-medianas, um tipo de modelo de localização discreta. Nos modelos de localização discreta, as demandas são atribuídas aos nós da rede e as facilidades são

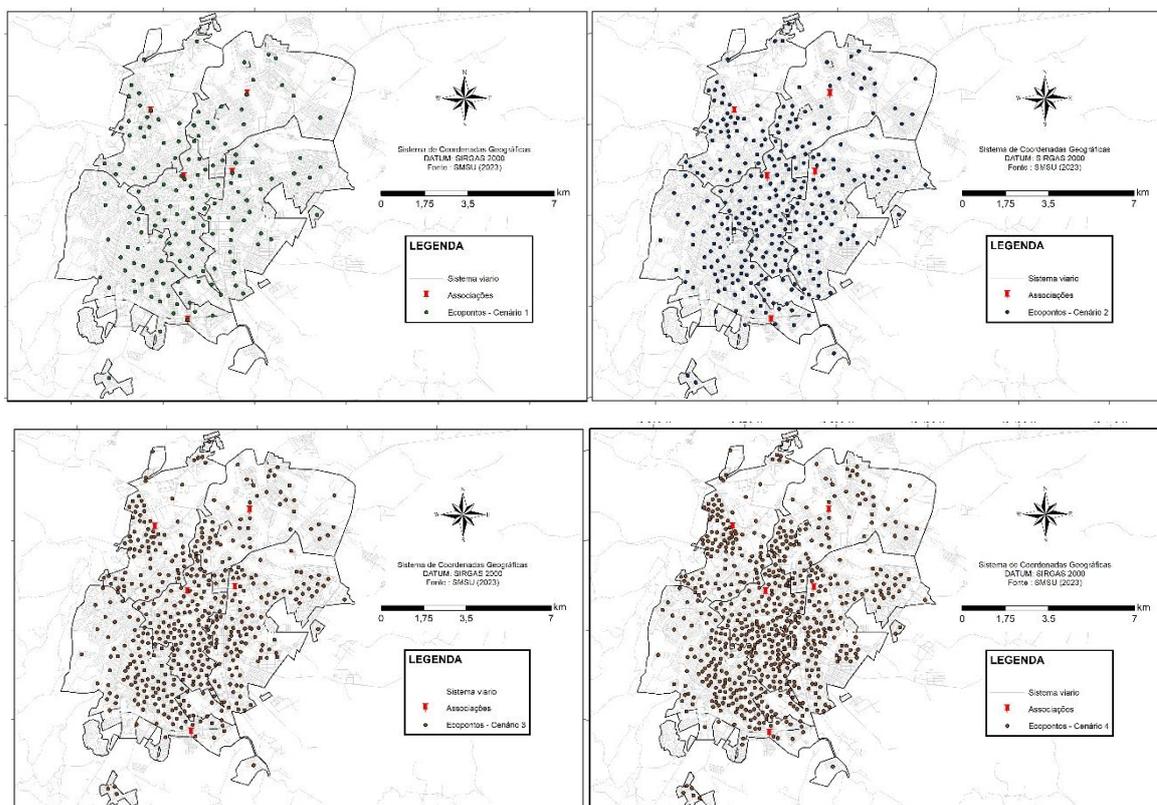
localizadas em um ou mais pontos dentre um conjunto de nós candidatos (Daskin, 2008). Os modelos baseados em mediana minimizam a distância média ponderada pela demanda entre um nó de demanda e um nó onde se está a facilidade à qual ele está atribuído.

O modelo de P-medianas pode ser resolvido por meio de uma matriz simétrica entre vértices de uma rede de instalações n vértices, onde $N = (1, \dots, n)$, denominada Matriz de custo $[D]_{ij}$ e uma matriz de alocação $[X]_{ij}$. O problema é definido como método P-mediana capacitado ou PMC, já que é levado em consideração a demanda dos vértices formadores da rede. Quando não é levado em consideração, o problema é conhecido como P-medianas não capacitado ou PMNC.

De acordo com Kazakovtsev *et al.* (2021), o problema de P-mediana continua sendo um modelo clássico de otimização global usado tanto para encontrar localizações ótimas de instalações em um plano como um modelo de agrupamento.

Os Ecopontos foram localizados na área urbana do município usando o problema das P-medianas, em função do critério distância entre os usuários e os Ecopontos, visto que, o mesmo não considera outras variáveis. Na figura 2 é possível observar o resultado da aplicação do modelo de localização para os 4 cenários estudados.

Figura 2 – Localização dos Ecopontos – Cenários 1, 2, 3 e 4



Fonte – Org. Autores (2023).

Considerando que as 5 regiões estudadas possuem juntas uma área de 98,09 km², os dois cenários de extremidade, com a menor e a maior quantidade de Ecopontos, apresentaram densidade média de 1,55 Ecopontos/km² (Cenário 1) e de 6,64 Ecopontos/km² (Cenário 4). Os resultados por região desses e dos cenários intermediários são apresentados na Tabela 7. Com as localizações definidas, os cenários estudados resultaram em distâncias médias de caminhada para o usuário (entre os domicílios e os Ecopontos) variando entre 279 m, no Cenário 1, 118 m, no Cenário 4 (Tabela 6). Torre *et al.* (2003), afirma que a participação da população é maior quando a distância de caminhada é menor. De acordo com Peixoto (2006), considerando a participação por meio de caminhada, a distância ideal para que a população caminhe até o Ecoponto para levar o material reciclável é de 300 metros, podendo chegar ao máximo de 500 metros. Todos os valores estão abaixo do limite de 300 m que os usuários aceitam caminhar para levar o material reciclável até um Ecoponto.

A Tabela 6 mostra que em todos os cenários as maiores distâncias, observadas em regiões mais isoladas da área de estudo, foram superiores 2 km. No entanto, são poucos os casos em que a população está a uma distância muito grande dos Ecopontos. A mesma tabela mostra que 95% da população está atendida a um raio máximo a partir do Ecoponto de 575 m no Cenário 1, 373 m no Cenários 2, 304 m no Cenário 3 e 200 m no Cenário 4. Avaliou-se ainda, qual a parcela da população estaria atendida dentro do limite de 300 m identificado por Peixoto (2006). Verifica-se no Cenário 1 que 63% da população estaria a uma distância de até 300 m de um Ecoponto. No Cenário 2 esse valor seria de 89%, no Cenário 3 de 95%, e no Cenário 4 de 97%.

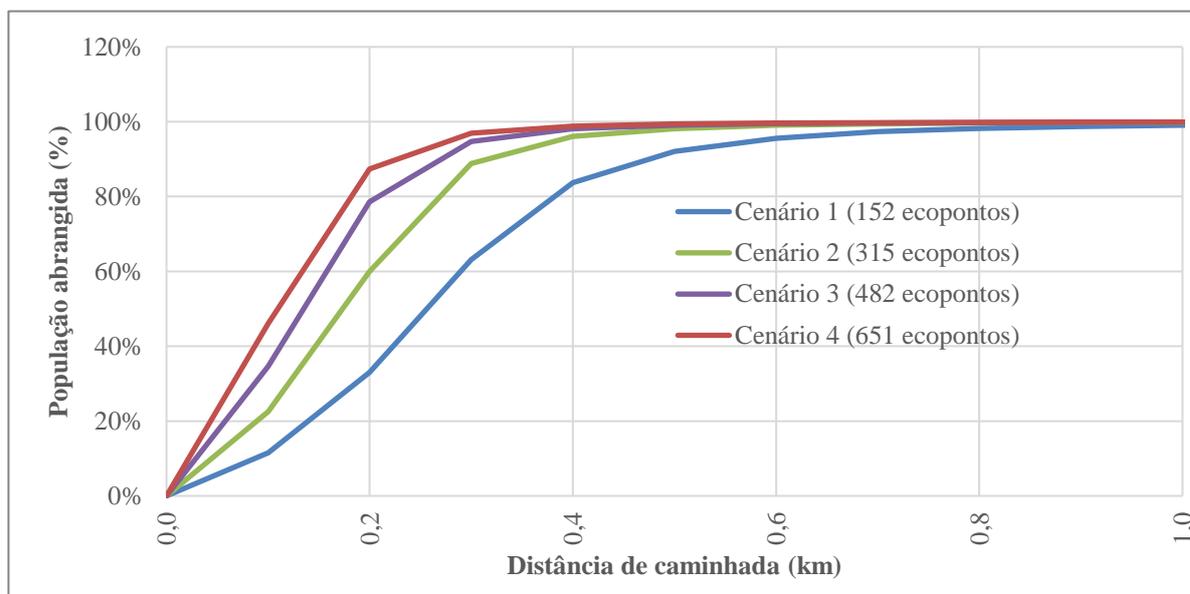
Tabela 6 – Resultados gerais por cenário

Cenário	Proporção de material reciclável	Nº de Ecoponto	Densidade (Ecop./km ²)	Distância até o Ecoponto		Raio de atend. à 95% da pop. (m)	População atendida até 300m (%)
				Média (m)	Máxima (m)		
1	4.00%	152	1.55	279	3.303	575	63%
2	8.30%	315	3.21	184	2.129	373	89%
3	12.80%	482	4.91	143	2.002	304	95%
4	17.49%	651	6.64	118	2.002	258	97%

Fonte – Org. Autores (2023).

A relação entre distância de caminhada e percentual da população atendida entre os quatro cenários estudados pode ser melhor visualizada no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Percentual de usuários abrangidos por faixa de distância de caminhada entre o domicílio e o Ecoponto



Fonte – Org. Autores (2023).

Os resultados da tabela anterior mostram que com o aumento da quantidade de Ecopontos entre os cenários, a população atendida aumenta e a distância entre a mesma e o Ecoponto diminui. Nesse sentido, a Tabela 7 mostra o ganho marginal das variáveis relacionadas à qualidade do serviço ofertado: distância média, distância máxima, raio de atendimento de 95% da população e população atendida até 300 m de distância. No caso da distância média, entre os Cenários 1 e 2, cada Ecoponto acrescentado leva a uma redução 0,58 m. Entre os Cenários 2 e 3 a distância marginal reduz para 0,25 m e entre os Cenários 3 e 4 para 0,15 m. Todas as variáveis apresentadas na tabela indicam que o ganho de qualidade entre os Cenários 2 e 3 e, principalmente, entre os Cenários 3 e 4 é muito pequeno, sendo os valores marginais próximos a zero.

Tabela 7 – Variação marginal dos resultados com o aumento de Ecopontos

Cenários	Distância média (m)	Distância máxima (m)	Raio de atend. à 95% da pop. (m)	População atendida até 300m
Cenário 1 x Cenário 2	-0.58	-7.20	-1.23	0.16%
Cenário 2 x Cenário 3	-0.25	-0.76	-0.42	0.04%
Cenário 3 x Cenário 4	-0.15	0.00	-0.27	0.01%

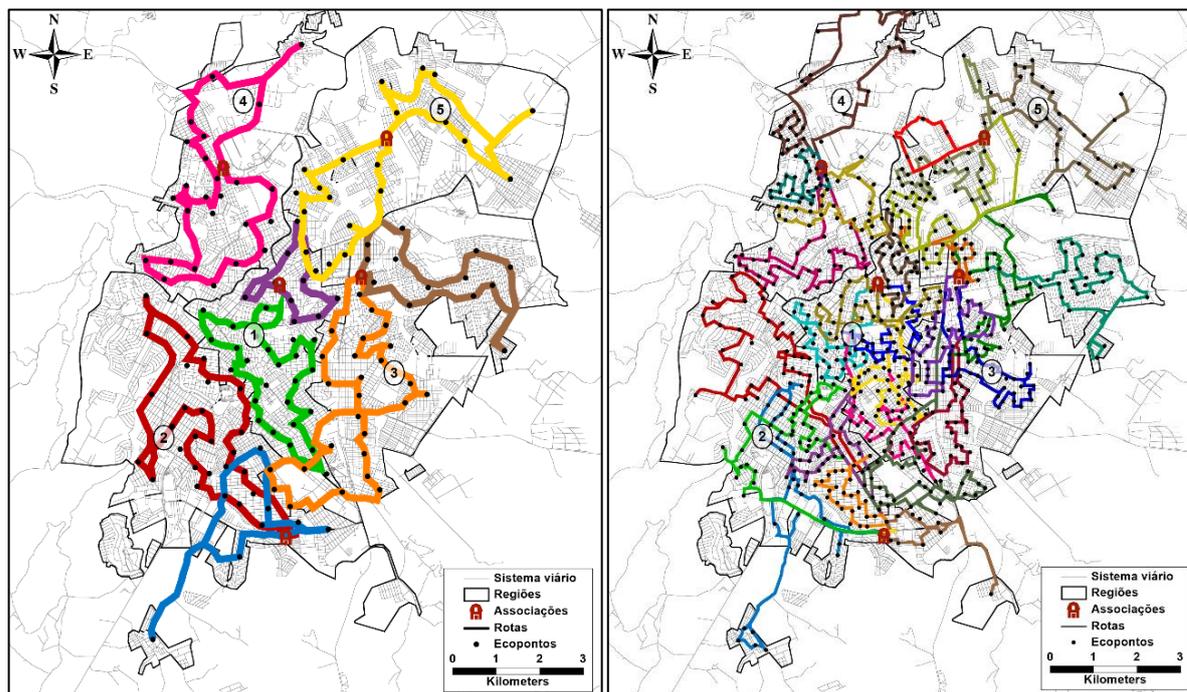
Fonte – Org. Autores (2023).

A tomada de decisão quanto à implantação do serviço de coleta seletiva com Ecopontos deve-se pautar também na avaliação dos custos. Observou-se um ganho elevado na qualidade ao usuário entre os Cenários 1 e 4, sobretudo quando se avalia os resultados conforme o critério de Peixoto (2006). Apesar disso, há entre esses cenários um aumento de 107% na quantidade de Ecopontos, o que pode levar a um grande aumento nos custos.

Definidas as localizações, foi feita a roteirização da coleta de material reciclável nos Ecopontos e o transporte para as associações para dois dos cenários estudados, o Cenário 1 e o Cenário 4, conforme Mapa 6. A aplicação do modelo de roteirização levou em consideração as seguintes premissas:

- Caminhão com capacidade para 3.500 kg de material reciclável;
- A frequência de coleta é de 3 vezes na semana em cada Ecoponto;
- Cada associação recebe somente material da sua área de cobertura;
- As rotas começam e terminam nas associações;
- O horário de funcionamento das associações é das 8h00 às 18h00, portanto recebe material somente nesse período;
- O tempo de coleta de material é de 10 minutos por Ecoponto e a velocidade de circulação dos caminhões é de 22 km/h.

Mapa 6 – Rotas da coleta dos materiais recicláveis nos Ecopontos – Cenários 1 e 4



Fonte – Org. Autores (2023).

A Tabela 8 mostra os detalhes sobre as rotas de cada uma das regiões, apresentando a quantidade de rotas e veículos necessários para a frequência de coleta determinada e capacidade dos contêineres, e, a extensão média e tempo de duração para os quatro cenários.

Tabela 8 – Tempo médio de duração das rotas

Região	Cenário 1				Cenário 4			
	Rotas	Veículos	Tempo médio (hh:mm)	Extensão média (km)	Rotas	Veículos	Tempo médio (hh:mm)	Extensão média (km)
1	2	1	3:39	14,50	6	2	4:49	12,67
2	2	1	3:42	20,86	6	2	4:44	17,44
3	2	1	4:11	20,53	7	2	4:40	15,80
4	1	1	5:16	24,73	5	2	4:06	11,17
5	1	1	4:22	26,83	4	1	4:01	14,44
Global	8	5	4:05	20,42	28	9	4:31	14,46

Fonte – Org. Autores (2023).

No Cenário 1 foram necessárias 8 rotas, sendo duas em cada uma das regiões 1, 2 e 3 e uma rota em cada uma das regiões 4 e 5. Considerando o período diário de 10 horas de funcionamento, é necessário 1 veículo por região, sendo 5 ao todo. O tempo médio de duração

das rotas foi de 4h05min e a extensão média, de 20km. No Cenário 4 foram necessárias 28 rotas para atender à demanda de coleta dos Ecopontos. Considerando o período diário de 10 horas de funcionamento, a frota de caminhões necessária seria de aproximadamente 9 veículos para as 5 regiões. O tempo médio de duração das rotas foi de 4h30min e a extensão média, de 14km.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo apresentado buscou otimizar a localização de Ecopontos de materiais recicláveis, usando um Sistema de Informação Geográfica. A localização adequada dos Ecopontos contribui para a coleta dos materiais, em função da qualidade e quantidade dos mesmos, do custo de aquisição dos contêineres e da rota do veículo coletor, e, o tempo de manutenção.

Na cidade de Montes Claros está prevista a instalação dos quatro primeiros Ecopontos na região central. Apesar de não atender 100% da população, é o primeiro passo para o início de um planejamento gradativo para atender um número maior de habitantes. Os resultados apresentados demonstram a viabilidade em usar ferramentas computacionais no auxílio a tomada de decisão em programas de coleta seletiva. Mas, é fundamental que políticas de educação ambiental sejam aplicadas para a sensibilização da população, visto que, sem o seu apoio, o programa será ineficaz.

Acredita-se que, atualmente o município possui baixos números de materiais recicláveis coletados, por ser um programa de coleta seletiva recente e com coletas pontuais em edifícios residenciais. Após a implantação dos primeiros Ecopontos e execução de políticas de educação ambiental, é esperado que ocorra o aumento no número de materiais recicláveis coletados, e, conseqüentemente a necessidade em aumentar a quantidade de Ecopontos, conforme demonstração dos quatro cenários.

O TransCAD se mostrou como uma ferramenta efetiva quanto à decisão de localizar pontos para instalação de Ecopontos, usando o modelo de P-medianas, e, na busca das melhores rotas dos veículos coletores no programa Recicla aos Montes. Com o auxílio da ferramenta foi possível realizar cenários, conforme a evolução dos números de resíduos coletados, entretanto, devido às limitações do modelo de P-medianas, os Ecopontos foram localizados apenas em função do critério distância, sem considerar outras variáveis.

Em cidades que são executados programas de coleta seletiva de forma manual, a substituição pelo uso do software TransCAD surge como uma solução eficaz para a superar desafios logísticos enfrentados na gestão de resíduos, oferecendo uma abordagem sistemática

e inteligente para aprimorar as operações de coleta na cidade. Contudo, é crucial reconhecer que, em ambientes urbanos mais complexos e exigentes, a limitação do modelo de P-mediana torna-se evidente. Nesses contextos, a necessidade de aprofundar a análise e explorar algoritmos mais avançados que levem em consideração uma gama mais ampla de variáveis, como inclinação da via, densidade dos materiais recicláveis, restrições temporais e demandas sazonais, é essencial. Assim, a busca por soluções mais abrangentes e adaptáveis deve nortear futuras pesquisas, visando aprimorar ainda mais a eficiência dos sistemas de coleta de resíduos em cenários urbanos desafiadores para que seja possível reduzir os custos e aumentar a eficácia da coleta.

Por fim, a ferramenta apresentou bons resultados, visto que, sem o *software*, o método usado continuaria sendo o manual, representando um alto custo para a administração pública. O trabalho em questão realizou um estudo em função dos Ecopontos, entretanto, de acordo com o crescente número de instalações, é essencial encontrar o ponto ótimo entre a localização e a execução da modalidade porta-a-porta, visto que, em alguns casos o veículo coletor já passará nos arcos da rede. De tal modo, sugere-se como trabalho futuro, um estudo para encontrar o ponto ótimo para a mudança de modalidade de coleta seletiva a fim de aprimorar a eficiência operacional.

Agradecimentos

A FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo financiamento do projeto, ao qual se encontra vinculada esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2022/>>. Acesso em: 06 out. 2023.

BERNARDO, M.; R. DA S. LIMA. Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas. **Urbe**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 9(supl 1), p. 385–395, 2017.

BRASIL. **Aberta consulta pública sobre Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Governo do Brasil, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2020/08/aberta-consulta-publica-sobre-plano-nacional-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 27 set. 2023.

BRASILEIRO, L. A.; LACERDA, M. G. Análise do uso de sig no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, p. 356-360, 2008.

CALIPER CORPORATION. **Routing and Logistics with TransCAD 8.0 User's Guide**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

CEMPRE. **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento integrado. Coordenação geral André Vilhena. 4. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf> . Acesso em: 15 set. 2023.

CEMPRE. Pesquisa ciclosoft - 2023. **Panorama da coleta seletiva no brasil**. 2023. Disponível: <<https://ciclosoft.cempre.org.br/>>. Acesso em: 02 mai. 2023.

COGHLAN, D.; SHANI, A. B. Creating action research quality in organization development: rigorous, reflective and relevant. *Systematic Practice and Action Research*, 27(6) , p. 523-536. doi: 10.1007/s11213-013-9311-y, 2014.

DA CRUZ, J. C. C. **Diagnóstico e aplicação de indicadores de sustentabilidade na coleta seletiva de materiais recicláveis de montes claros - MG**. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Ambiente e Território). ICA - INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, Montes, Claros, 2021.

DASKIN, M. What you should know about location modeling. **Naval Research Logistics**, 4, n. 55, 283-294, 2008.

GANDRA, A. **Índice de reciclagem no Brasil é de apenas 4%, diz Abrelpe**. 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-06/indice-de-reciclagem-no-brasil-e-de-4-diz-abrelpe>>. Acesso em: 28 set. 2023.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. *São Paulo: Atlas, 5ª edição*, 2012. GOLDEN, B. L.; DEARMON, J. S.; BAKER, E. K. Computational experiments with algorithms for a class of routing problems. *Computers Operations Research*, v. 10, p. 47-59, 1983.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

JUNIOR, A. P.; FILHO, P. C. D. O. Análise das rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com o uso de geoprocessamento. **Revista Acadêmica Agrária Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 131-144, 2010.

KAZAKOVTSSEV, L.; ROZHNOV, I.; NASYROV, I.; ORLOV, V. Self-adjusting genetic algorithm with greedy agglomerative crossover for continuous p-median problems. In: **International Conference on Mathematical Optimization Theory and Operations Research**. Cham: Springer International Publishing, p. 184-200, 2021.

LARSON, R. C.; ODONI, A. R. **Urban operations research**. New Jersey: Prentice-Hall, 1981.

LIMA, R. S.; PONS, N.; LIMA, J. P. Precisão aceitável. A utilização do google earth para obtenção de mapas viários urbanos para sig. **Infogeo**, v. 57, p. 34-36, 2009.

LORENA, L. A. N.; SENNE, E. L. F.; PAIVA, J. A. C.; PEREIRA, M. A. Integration of location models to geographical information systems. **Gestão Produção**, v. 8, p. 180-195, 2001.

MARQUES, M. F. C. **Agenda 2030: objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU: desafios ao desenvolvimento tecnológico e à inovação empresarial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Qualidade e Ambiente), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2019.

MARTINS, R. A.; MELLO, C. P.; TURRIONI, J. B. Guia para elaboração de monografia e tcc em engenharia de produção. *Editora Atlas SA*, 2013.

MONTES CLAROS. **Plano municipal de saneamento básico referente à prestação dos serviços de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas e de limpeza urbana e manejo de 137 resíduos sólidos de montes claros (MG): relatório de mobilização social**. Prefeitura Municipal de Montes Claros. Montes Claros, MG. 2015. Disponível em: <<https://www.montesclaros.mg.gov.br/agencianoticias/2015/Plano>>. Acesso em: 04 mar. 2023.

MONTES CLAROS. **Edital de chamamento público do marco regulatório nº 05/2019**. Seleção de propostas de organizações da sociedade civil interessadas em celebrar termo de colaboração que tem por objeto a execução de projetos de coleta seletiva, instituído através da

lei municipal nº 5.182/2019. Montes Claros: Secretaria de Serviços Urbanos. 2019. Disponível em: <<https://marcoregulatorio.montesclaros.mg.gov.br/chamamentopublico/chamamento-publico-n-052019servicos-urbanos>>. Acesso em: 03 mai. 2023.

MONTES CLAROS. **Residômetro do Projeto Recicla aos Montes**. Montes Claros. 2023. Disponível em: <<https://ssu.montesclaros.mg.gov.br/residometro/projeto-recicla-aos-montes>>. Acesso em: 24 set. 2023.

NEVRLÝ, V.; ŠOMPLÁK, R.; SMEJKALOVÁ, V.; LIPOVSKÝ, T.; JADRNY, J. Location of municipal waste containers: Trade-off between criteria. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123445, 2021.

OLIVEIRA, R. L. d.; LIMA, R. S. **Logística reversa**: a utilização de um sistema de informações geográficas na coleta seletiva de materiais recicláveis. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2011.

OLIVEIRA, R. L. d.; LIMA RENATO. S.; LIMA, J. P. Arc routing using a geographic information system: Application in recyclable materials selective collection. **Advanced Materials Research**. v 838-841. p 2346-2353, 2014.

PEIXOTO, K.; CAMPOS, V. B. G.; D'AGOSTO, M. A. Localização de equipamentos para coleta seletiva de lixo reciclável em área urbana. In: **2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável**. 2006.

PEIXOTO, K. **Contribuição ao Planejamento e Operação da Coleta Seletiva em Área Urbana**. Ciências em Engenharias de Transportes. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro, 2006.

PEREIRA, M. A. **Um método branch-and-price para problemas de localização de p-medianas**. Tese (Doutorado em Computação Aplicada). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2005.

RADA, E. C.; ZATELLI, C.; MATTOLIN, P. Municipal solid waste selective collection and tourism. *WIT Trans. Ecol. Environ*, v. 180, p. 187-197, 2014.

SILVA, A. F. G.; LIMA, R. A. DE A.; SOUZA, P. S.; DOS SANTOS, B. D.; SOUZA, F. A. S. A coleta seletiva nas universidades: o caso da universidade regional do cariri/urca. Gestão integrada de resíduos: universidade comunidade. Campina Grande: **EPGRAF**, v. 1, p. 18-22, 2018.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S.A. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue. **McGraw Hill Inc.**, New York, 1993.

TORRE, P. L. G.; DÍAZ, B. A.; TORRES, A. R. Some comparative factors regarding recycling collection systems in regions of the USA and Europe. **Journal of Environmental Management**, v 69, p. 129-138, 2003.

VASCONCELOS, K. B.; LEMOS, C. F. Densidade aparente dos resíduos da construção civil em Belo Horizonte – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6., 2015, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Centro Universitário Metodista IPA, 2015.

Artigo recebido em: 16 de novembro de 2023.

Artigo aceito em: 10 de maio de 2024.

Artigo publicado em: 15 de junho de 2024.