

Aplicação da análise hierárquica na seleção de terrenos para a instalação de um centro de triagem de resíduos sólidos em São Gonçalo do Rio Abaixo (Minas Gerais)

Application of the hierarchical analysis in the selection of lands for the installation of a solid waste sorting center in São Gonçalo do Rio Abaixo (Minas Gerais)

Aplicación de análisis jerárquico en la selección de terrenos para la instalación de un centro de clasificación de residuos sólidos en São Gonçalo do Rio Abaixo (Minas Gerais)

Recebido: 06/04/2020 | Revisado: 15/04/2020 | Aceito: 19/04/2020 | Publicado: 20/04/2020

Anderson Chester Gomes Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8884-6999>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: anderson.chester@yahoo.com.br

Janaina de Cássia Lopes Cordeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6754-0915>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: janaina.meioambiente@hotmail.com

Tamiris Aparecida Félix Gonçalves Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4119-3967>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: tamiris.felix@yahoo.com.br

Juni Cordeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9371-8385>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: juni.cordeiro@funcesi.br

Maria Auxiliadora Lage

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8628-2923>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: mauxiliadora.lage@funcesi.br

Resumo

O gerenciamento dos resíduos sólidos compreende as etapas de coleta, armazenamento, tratamento, transporte e destinação final desses materiais, visando garantir a preservação do

meio ambiente e a saúde pública. Neste sentido, este trabalho objetivou identificar áreas para a implantação de um centro de triagem de resíduos sólidos no município de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG), utilizando como apoio o método da Análise Hierárquica de Processo (AHP), além de caracterizar a geração e destinação dos resíduos sólidos na cidade. A metodologia utilizada foi quali-quantitativa, por meio de pesquisa documental e de campo, sendo analisadas imagens de satélite e documentos relacionados à legislação municipal, como o plano diretor. Notou-se que uma projeção envolvendo a geração de resíduos sólidos entre os anos de 2017 e 2028 indica um crescimento de aproximadamente 10% destes, assim, a vida útil do aterro em operação não será suficiente. Com relação a seleção da área para instalação de um centro de triagem verificou-se que a melhor alternativa é a área 3, situada na localidade de Perobas, que mesmo não sendo a maior e possuindo vegetação próxima, possui acesso ao sistema viário e não está próxima à um curso hídrico, critério considerado de maior importância nesta análise. Por fim salienta-se que a minimização envolvendo a geração dos resíduos e o tratamento adequado destes são itens que contribuem para a qualidade de vida da população e para redução de impactos ambientais negativos associados à destinação incorreta desses materiais.

Palavras-chave: Análise multicritério; Destinação final; Impactos ambientais; Resíduos recicláveis; Reciclagem.

Abstract

The management of solid waste comprises the stages of collection, storage, treatment, transportation and final disposal of these materials, aiming to ensure the preservation of the environment and public health. In this sense, this work aimed to identify areas for the implementation of a solid waste sorting center in the city of São Gonçalo do Rio Abaixo (MG), using as a support the Analytical Hierarchical Process (AHP) method, besides characterizing the generation and disposal of solid waste in the city. The methodology used was quali-quantitative, through documentary and field research, with satellite images and documents related to municipal legislation being analyzed, such as the master plan. It was noted that a projection involving the generation of solid waste between 2017 and 2028 indicates a growth of approximately 10% of these, thus, the useful life of the landfill in operation will not be enough. Regarding the selection of the area for the installation of a sorting center, it was found that the best alternative is area 3, located in Perobas, which, although not the largest and having nearby vegetation, has access to the road system and is not located close to a water course, a criterion considered of most importance in this analysis. Finally, it is emphasized that the minimization involving the generation of waste and the proper treatment of these are items that contribute to the population's quality of life and the reduction of negative environmental impacts associated with the incorrect disposal of these materials.

Keywords: Multicriteria Analysis; Final destination; Environmental impacts; Recyclable waste; Recycling.

Resumen

La gestión de los residuos sólidos comprende las etapas de recolección, almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición final de estos materiales, con el objetivo de garantizar la preservación del medio ambiente y la salud pública. En este sentido, este trabajo tuvo como objetivo identificar áreas para la implementación de un centro de clasificación de residuos sólidos en la ciudad de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG), utilizando como soporte el método de Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP), además de caracterizar la generación y disposición de residuos sólidos en la ciudad. La metodología utilizada fue cuali-cuantitativa, a través de la investigación documental y de campo, con imágenes satelitales y documentos relacionados con la legislación municipal en análisis, como el plan maestro. Se observó que una proyección que involucra la generación de desechos sólidos entre 2017 y 2028 indica un crecimiento de aproximadamente el 10% de estos, por lo tanto, la vida útil del vertedero en operación no será suficiente. Con respecto a la selección del área para la instalación de un centro de clasificación, se encontró que la mejor alternativa es el área 3, ubicada en Perobas, que, aunque no es la más grande y tiene vegetación cercana, tiene acceso al sistema de carreteras y no está ubicada cerca de un curso de agua, un criterio considerado de mayor importancia en este análisis. Finalmente, se enfatiza que la minimización que implica la generación de residuos y el tratamiento adecuado de estos son elementos que contribuyen a la calidad de vida de la población y la reducción de los impactos ambientales negativos asociados con la eliminación incorrecta de estos materiales.

Palabras clave: Análisis multicriterio; Destino final; Impactos ambientales; Residuos reciclables; Reciclaje.

1. Introdução

A produção do lixo e sua origem estão diretamente ligadas ao crescimento populacional e ao processo de desenvolvimento científico e tecnológico. Dessa forma, o tipo, o volume e a quantidade de resíduos sólidos produzidos são definidos pelos aspectos, hábitos econômicos e culturais de cada sociedade e seu consumismo (Naruo, 2003).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004), por meio da Norma Brasileira (NBR) 10.004, os resíduos sólidos são substâncias nos estados sólidos e semissólidos, resultantes de atividades antrópicas, como as industriais, hospitalares, agrícolas, comerciais e de serviços de varrição.

Dada a necessidade de uma gestão integrada e um gerenciamento ambientalmente

adequado desses materiais, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, possui, dentre seus objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; a não geração, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, assim como a disposição final ambientalmente apropriada dos rejeitos (Brasil, 2010).

Neste sentido, o gerenciamento dos resíduos sólidos mostra-se importante, pois visa minimizar a produção dessas substâncias, proporcionando uma adequada coleta, armazenamento, tratamento, transporte e destinação final e garantindo a preservação do meio ambiente e da saúde pública. Destaca-se que dificuldades na gestão dos resíduos sólidos, aliadas à interferência crescente do despejo inadequado desses materiais em áreas potencialmente degradáveis em termos ambientais, podem promover a contaminação das águas e do solo (Jacobi, 2006).

Assim, dentre as alternativas consideradas adequadas ambientalmente para a destinação e disposição de resíduos sólidos podem ser ressaltadas a disposição em aterro sanitário, compostagem, reciclagem, reutilização, recuperação e o aproveitamento energético (Brasil, 2010).

A reciclagem corresponde ao conjunto de técnicas de reaproveitamento de materiais descartados, reintroduzindo-os no ciclo produtivo, representando uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos mais vantajosas, tanto do ponto de vista ambiental quanto social, uma vez que reduz o consumo de recursos naturais, poupa energia e água, diminui o volume de lixo e gera renda para milhares de pessoas (Ministério do Meio Ambiente, 2019).

Uma das formas de prover a reciclagem ocorre por meio dos centros de triagem, que devem ser projetados de modo a garantir boas condições de funcionamento e de manutenção. Entretanto, ressalta-se que a eficiência da reciclagem está condicionada à implantação da coleta seletiva com estratégias bem definidas (Barros, 2012).

Dessa forma, faz-se necessário consultar o zoneamento vigente no plano diretor municipal para a escolha da melhor área para a implantação de centros de triagem, além da observação de alguns critérios tais como o distanciamento de nascentes, fundos de vale, vegetação nativa, mananciais e cursos d'água, evitando bairros residenciais e priorizando regiões industriais, afastadas do centro urbano, mas com infraestrutura de fácil acesso (Ministério do Meio Ambiente, 2019).

Neste contexto, estudos mostram que devido à preocupação com a geração de resíduos, aliada à disposição inadequada e ao alto custo na implantação de tratamentos apropriados, a análise multicritério tem apresentado resultados satisfatórios (Costa, 2002). Esta metodologia consiste em estruturar a tomada de decisão conforme as potenciais alternativas, critérios,

impactos e o cenário destas, contribuindo para a definição das prioridades de um projeto de acordo com a legislação ambiental (Campos, 2011).

Assim, visto que o município de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG) não possui um centro de triagem de resíduos sólidos, este trabalho visou a identificação de áreas para a instalação dessa estrutura, utilizando como ferramenta de apoio à decisão o método de análise hierárquica (*Analytical Hierarchical Process - AHP*). Além disso, buscou-se quantificar os resíduos sólidos gerados na cidade, assim como sua destinação.

2. Metodologia

Esta pesquisa empregou as abordagens qualitativa e quantitativa. De modo geral, a pesquisa qualitativa não visa a representação numérica e sim o aperfeiçoamento para o conhecimento de um grupo social em uma organização (Gerhardt & Silveira, 2009). Por outro lado, segundo Botelho & Cruz (2013), a pesquisa quantitativa aplica métodos estatísticos, em que o objeto a ser pesquisado é analisado por meios quantificáveis, transformando dados em números a serem trabalhados.

Assim sendo, nesta pesquisa, a análise qualitativa foi utilizada para a caracterização do gerenciamento, destinação e disposição final dos resíduos sólidos e das áreas disponíveis para a implantação de um centro de triagem no município de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG). Considerando a análise quantitativa, foram examinados dados referentes à geração dos resíduos e empregado o método AHP para apoio à seleção da melhor alternativa para a implantação do centro de triagem.

Neste estudo foram utilizadas a pesquisa documental e de campo. Em relação à pesquisa documental, Gil (2002) ressalta que, apesar das semelhanças com a pesquisa bibliográfica, se diferencia desta por utilizar documentos que não passaram por tratamento analítico e que podem ser reorganizados quanto ao objeto de pesquisa. Dessa forma, neste trabalho foram analisados documentos relacionados à legislação municipal, como o plano diretor, a Lei Orgânica e a Lei de Uso e Ocupação do Solo, para auxiliar na escolha da melhor alternativa para a implantação do centro de triagem de resíduos recicláveis.

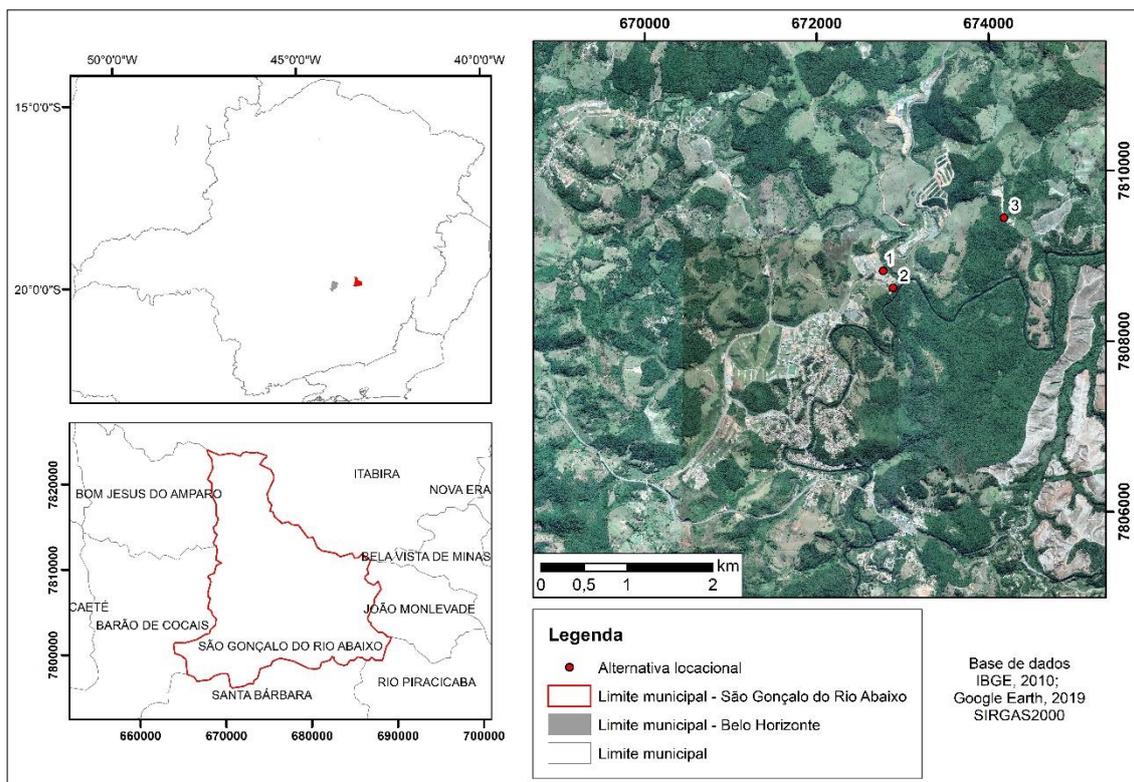
A pesquisa de campo é realizada no local onde ocorreu o fenômeno, possibilitando a coleta de informações para explicá-lo (Vergara, 2003). Neste trabalho foi realizada uma visita, no dia 16 de maio de 2019, ao município de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG), visando a caracterização das três possíveis áreas para a implantação de um centro de triagem.

A amostra segundo Marconi & Lakatos (2003), pode ser definida como um subconjunto

do universo, que retrata a realidade de uma parte da população. As amostras desse estudo correspondem a duas vertentes, ao gerenciamento de resíduos e às áreas selecionadas para a instalação de um centro de triagem no município de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG).

A cidade de São Gonçalo do Rio Abaixo, situada na região central do Estado de Minas Gerais (Figura 1), a 84 km da capital Belo Horizonte, tem população estimada em 10.818 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2018).

Figura 1 - Imagem de satélite indicando a localização das áreas disponíveis para a instalação do centro de Triagem – São Gonçalo do Rio Abaixo (MG).



Fonte: Modificado do IBGE, 2010; Google Earth, 2019.

Há em São Gonçalo do Rio Abaixo um aterro sanitário que foi implantado em 2009, localizado na zona rural de Perobas, a 5 km do centro da cidade, ocupando uma área de 101 hectares. Os resíduos encaminhados para o aterro são originados dos serviços de coleta tradicional e seletiva, que atende a 100% da população residente nas áreas urbana e rural. Entretanto, como ainda não há no município uma usina de triagem, os resíduos da coleta seletiva são segregados de maneira manual por servidores públicos (Prefeitura de São Gonçalo do Rio Abaixo, 2019).

Os dados obtidos nesta pesquisa foram tratados por meio da análise de conteúdo e da

estatística descritiva. A análise de conteúdo surgiu a partir do grande volume de materiais publicados e a necessidade de interpretá-los, sendo possível, através desta técnica, a descrição do seu significado (Gil, 2002).

Já a estatística descritiva, segundo Santos (2017), é um ramo da estatística que visa descrever qualquer tipo de dados, sintetizando-os de maneira direta. Essa forma de tratamento dos dados foi utilizada para estimar a geração de resíduos no município de São Gonçalo do Rio Abaixo e para a aplicação do método AHP.

Destaca-se que o método AHP se baseia da decomposição por hierarquias e síntese pela assimilação de relações através de uma escolha consciente (Saaty, 1990). Para fazer o uso da escala de prioridades, deve-se realizar o julgamento ou comparações entre critérios e alternativas, consistindo na representação numérica de uma relação entre dois elementos. O grupo desses julgamentos pode ser representado em uma matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos (Saaty, 1990).

A escala recomendada por Saaty (1990), apresentada no Quadro 1, vai de 1 a 9, sendo que 1 significa a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, enquanto 9 significa a importância de um critério sobre o outro, havendo estágios intermediários de importância. Ressalta-se que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala e o menos importante como o inverso dessa unidade.

Quadro 1 - Demonstração da indiferença e a importância de um critério sobre o outro.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Saaty, 1990, p. 43.

Um exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos com o método AHP pode ser observado na matriz demonstrada na Figura 2. Faz-se importante salientar que a matriz de importância é analisada em função dos pesos atribuídos para cada parâmetro.

Figura 2 – Exemplo de matriz de julgamento preenchida com o método AHP.

$$\begin{array}{c}
 \begin{matrix}
 & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\
 A_1 & \left(\begin{array}{cccc}
 w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\
 w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n
 \end{array} \right) & \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \\
 \vdots \\
 A_n
 \end{matrix} \\
 \\
 = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} .
 \end{array}$$

Fonte: Saaty, 1990, p. 44.

Na aplicação desse método deve-se verificar a inconsistência dos dados, observada quando algumas opiniões da matriz de comparação se contradizem às outras. Para isso, dentre os passos recomendados por Saaty (1990) para aplicação do método AHP, está o de calcular o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR).

Assim, para cada linha da matriz de comparação deve ser determinada a soma ponderada, obtida a partir da soma do produto de cada valor pela prioridade da alternativa correspondente. Em seguida, os resultados obtidos deverão ser divididos pelos vetores da respectiva matriz. A partir da média dos resultados de cada linha é obtido o λ máx, que corresponde ao maior autovalor da matriz de julgamentos.

O valor da Razão de Consistência que considera o IC e IR refere-se à inconsistência no julgamento do decisor e deve ser inferior a 0,10. Essa é a variância do erro de estimativa da matriz de comparação, permitindo a análise desejada. Esses parâmetros podem ser obtidos por meio das equações 1 e 2, em que n representa a dimensão da matriz.

$$\text{IC} = \text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n-1} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Razão de Consistência} = \frac{\text{IC}}{\text{Índice Randômico (IR) para n}} \quad (\text{Equação 2})$$

3. Resultados e Discussão

Para que a gestão dos resíduos sólidos ocorra de forma adequada, faz-se necessária a elaboração do diagnóstico do gerenciamento dos resíduos, que consiste em analisar os tipos e

as porcentagens dos resíduos gerados, o tratamento que está sendo feito e a forma destinação e disposição final, além de observar as peculiaridades e o perfil econômico e socioambiental do município (Casarin, 2013).

A responsabilidade pelo sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do município de São Gonçalo do Rio Abaixo é da Prefeitura Municipal. A varrição de logradouros públicos é realizada seis dias por semana em toda a área urbana e há varrição em algumas comunidades rurais. Destaca-se que não há uma estação de transbordo para os resíduos, que são coletados nas vias e encaminhados diretamente para a área do aterro.

Os resíduos sólidos dos serviços de saúde provenientes de instituições públicas como hospitais e das Unidades Básicas de Saúde (UBS's) são de responsabilidade da Prefeitura, sendo que serviços de coleta, transporte, destinação e disposição final são realizados através de empresa especializada.

Os geradores particulares, tais como farmácias e clínicas odontológicas, são responsáveis pela contratação de empresa especializada no gerenciamento dos resíduos gerados por suas atividades. Neste sentido destaca-se a importância da separação dos resíduos de serviços de saúde, uma vez que visa minimizar os perigos e riscos à saúde pública por contaminação.

De modo geral, os resíduos sólidos domiciliares e comerciais são acondicionados pelos geradores, em sacos plásticos e colocados nas vias públicas para que sejam coletados pela Prefeitura. A coleta de resíduos sólidos urbanos ocorre de segunda a sábado, abrangendo tanto a área urbana quanto a área rural do município, sendo que as coletas nos bairros centrais são realizadas diariamente, nos demais bairros, assim como na zona rural, os resíduos são coletados três vezes por semana.

O transporte dos resíduos é realizado através de veículos disponibilizados pela Prefeitura. Para o serviço de coleta convencional na área urbana são utilizados dois caminhões compactadores com capacidade de 10 toneladas (t), sendo realizadas duas viagens ao aterro na segunda-feira e uma viagem nos demais dias da semana. Já para a área rural está disponível um caminhão compactador de 4 t que faz uma viagem por dia ao aterro sanitário.

O município também possui coleta seletiva, iniciada em 2009, que é diária na área central e segue um cronograma para a coleta em outras áreas. Esta coleta é efetuada por caminhão baú (6 t), existindo ainda um veículo de apoio com capacidade de 4 t. Destaca-se que nos bairros e localidades rurais com maior população, a coleta seletiva é realizada 2 vezes por semana, nos demais, os resíduos são coletados apenas uma vez por semana, sendo que em períodos de festividades ou feriados a frequência tende a aumentar, conforme a demanda.

A coleta seletiva é importante tanto para a população quanto para o meio ambiente, pois promove, dentre outros aspectos, a diminuição do uso de matérias-primas e redução da poluição ambiental, além de apresentar um potencial econômico relacionado à comercialização dos materiais reciclados, gerando renda e reduzindo gradativamente o encaminhamento dos resíduos sólidos para a disposição final (Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, 2006).

Além disso, há no município um programa de coleta de óleo de cozinha usado, cujo destino é a produção de sabão. Esta atividade é desenvolvida por servidores públicos, lotados na Secretaria Municipal de Meio Ambiente, que produzem cerca de 650 barras por semana. Esse tipo de programa é importante, uma vez que ao reciclar o óleo são minimizados os impactos ambientais negativos causados pela disposição inadequada dessa substância, como a poluição das águas superficiais e subterrâneas e a poluição do solo (Jacobi, 2006).

Os resíduos da coleta convencional são encaminhados para o aterro sanitário do município, licenciado desde 2010 com projeção de 20 anos de vida útil. De modo geral, o aterro possui manta impermeabilizante, coletor de chorume e parede de contenção. Essas estruturas possibilitam a proteção do solo, do ar, das águas subterrâneas e as superficiais evitando danos à saúde e à segurança, diminuindo os impactos ambientais negativos (Barros, 2012).

Já os resíduos recolhidos através da coleta seletiva são destinados ao galpão de reciclagem, situado na área adjacente ao aterro sanitário. Nessa unidade, os resíduos chegam de caminhão baú e são descarregados em uma área de recepção. Os resíduos recicláveis são separados e pesados, visando o controle operacional da unidade. Os rejeitos, ou seja, os materiais não aproveitados na reciclagem, são dispostos no aterro sanitário.

De acordo com a análise realizada pela Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Rio Abaixo, no ano de 2017, foram gerados no município, em média, 8.500 kg/dia (255 t/mês) de resíduos sólidos urbanos. Já na área rural não se tem estimativa de geração, mas são coletados entre 750 e 1000 kg/dia (26,25 t/mês).

De acordo com o Parecer Único nº 183 da Superintendência Regional de Meio Ambiente – Central Metropolitana (Supram-CM, 2010), o município de São Gonçalo do Rio Abaixo produzia em média 4.500 kg/dia de resíduos sólidos urbanos no ano de 2010, o que correspondia a 0,5 kg/hab.dia. Destaca-se que nesta época o município estava em fase de crescimento econômico associado ao recebimento dos impostos provenientes das atividades de mineração, o que fez com ocorresse o aumento do número de habitantes e, conseqüentemente, a geração de resíduos.

Conforme a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2017), a geração *per capita* de resíduos na região Sudeste em 2017 foi

de 1,217 kg/hab/dia. A população brasileira apresentou um crescimento de 0,75% entre 2016 e 2017, enquanto a geração *per capita* de RSU apresentou aumento de 0,48%. A geração total de resíduos aumentou 1% no mesmo período, atingindo um total de 214.868 toneladas diárias de RSU no país. Assim, observa-se que a geração do município de São Gonçalo do Rio Abaixo era inferior à média *per capita* da região Sudeste.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados no município correspondia a 40,1% de materiais recicláveis; 42% de rejeitos; 13,3% de matéria orgânica e 4,7% de materiais potencialmente recicláveis. Ressalta-se que através da análise gravimétrica é possível identificar as porcentagens dos resíduos passíveis de reciclagem, como também a matéria orgânica e os rejeitos gerados por uma determinada população, correspondendo, dessa forma, a um dado importante para a avaliação e definição do gerenciamento dos resíduos nos municípios (Zanta *et al.*, 2006).

Utilizando a metodologia apresentada pelo Ministério do Meio Ambiente (2019) é possível prever o crescimento da demanda pelos serviços de manejo de resíduos sólidos e limpeza urbana a partir da projeção populacional. Destaca-se que a média da massa de RSU *per capita* em relação à população urbana por faixa populacional utilizada nesta projeção é de 0,81 kg/hab.dia para municípios com até 30 mil habitantes.

Dessa forma, o Quadro 2 apresenta a projeção da geração de resíduos entre os anos de 2017 e 2028. Ressalta-se que para a realização dessa projeção foram utilizados valores da composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no município. Para tal, considerou-se uma parcela de 44,8% de resíduos secos passíveis de reciclagem na massa correspondente a 8,7 t/dia de resíduos gerados no ano de 2017 (SHS, 2017).

Nota-se no Quadro 2 que a estimativa de crescimento da população ao longo de 10 anos e o aumento da geração de resíduos por tonelada/dia, correspondem a 10% aproximadamente. Assim, faz-se importante avaliar a capacidade do aterro sanitário para a destinação desses resíduos.

O aterro sanitário municipal teve sua licença de operação expedida em 31 de maio de 2010 com previsão de vida útil de 20 anos. No entanto, como o lixão existente no município foi totalmente removido para as valas do aterro e a coleta seletiva só conseguiu atender quase a totalidade da população no ano de 2012, sua vida útil foi reduzida.

Segundo informações da Prefeitura Municipal, através de diagnóstico realizado pela Secretaria de Meio Ambiente, considerando a vivência nas operações, o aterro possui, apenas, em torno de 3 anos de vida útil, fazendo-se necessária a ampliação das suas estruturas com a construção de novas valas.

Quadro 2 - Projeção da geração de resíduos no município de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG) entre os anos de 2017 e 2028.

Ano	População urbana (hab)	População rural (hab)	População total (hab)	Quantidade de resíduos gerados (ton/dia)	Quantidade de resíduos secos passíveis de reciclagem (ton/dia)
2017	5.345	5.389	10.734	8,7	3,8
2018	5.434	5.410	10.844	8,8	3,9
2019	5.513	5.427	10.940	8,9	3,9
2020	5.608	5.447	11.055	9,0	4,0
2021	5.687	5.466	11.153	9,0	4,0
2022	5.778	5.484	11.262	9,1	4,0
2023	5.875	5.498	11.373	9,2	4,0
2024	5.962	5.515	11.477	9,3	4,1
2025	6.044	5.526	11.570	9,4	4,1
2026	6.125	5.530	11.655	9,4	4,1
2027	6.214	5.548	11.762	9,5	4,2
2028	6.297	5.547	11.844	9,6	4,2

Fonte: Adaptado de SHS (2017).

Considerando a análise da geração dos resíduos e das áreas de maior demanda torna-se necessário um programa de coleta seletiva bem estruturado para a definição dos roteiros de coleta, melhor logística de transporte, escolha dos veículos, além da definição da localização do centro de triagem, contemplando ainda o seu dimensionamento, operação interna, equipamentos e processamento dos materiais. Ressalta-se que os galpões devem ser construídos com uma área de recepção de resíduos, em silos, nos quais os recicláveis serão selecionados (SHS, 2017).

Assim, como ferramenta de apoio à decisão para a escolha da melhor área para implantação do centro de triagem foi utilizado o método AHP, que estrutura o problema em níveis hierárquicos, facilitando a sua avaliação.

3.1. O método AHP como apoio à decisão para a definição da locação do centro de triagem

Os centros de triagem são utilizados para a separação dos diversos componentes do lixo, divididos em grupos, conforme a sua natureza, permitindo, no mínimo, a segregação entre resíduos secos, passíveis de reciclagem, orgânicos e os rejeitos. Os resíduos secos são compostos por metais, papéis de diferentes formatos e diversos tipos de plásticos e vidros. Os resíduos orgânicos consistem em restos de alimentos e folhagens, e os rejeitos, são resíduos não recicláveis, compostos em sua maior parte por resíduos de limpeza, como papéis higiênicos,

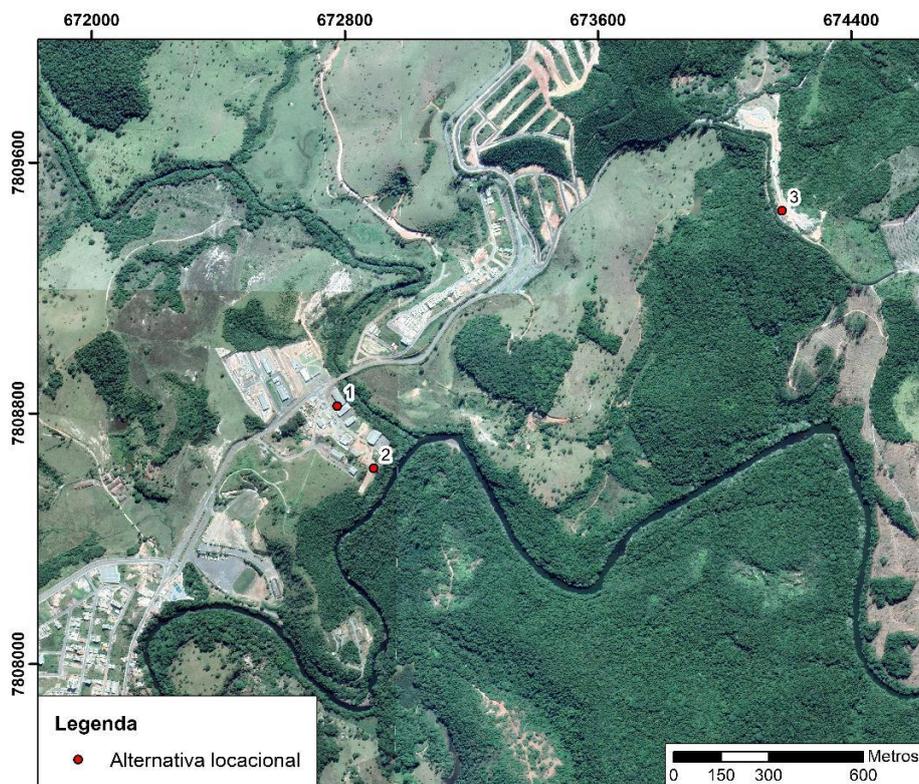
fraldas e absorventes (Ministério do Meio Ambiente, 2019).

Destaca-se que cada galpão deve ter em sua estrutura uma área administrativa, banheiros, vestiários femininos e masculinos e refeitório. Além disso, devem ser equipados com balança, prensa carrinho para transporte dos fardos e empilhadeira. Na área externa, deve haver pátio para manobras de veículos de carga e descarga e estacionamento para veículos comuns e os operacionais (Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, 2008).

Conforme o prognóstico municipal de saneamento básico realizado pela Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Rio Abaixo no ano de 2017, através de parceria com o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba e a SHS – Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda., para cada tonelada de material a ser manejado são necessários cerca de 300 m² de área no galpão. Considerando atingir a meta de, 4,2 ton/dia em 2028, o espaço adequado para a usina de triagem seria de aproximadamente 1260 m².

A Figura 3 mostra a localização das 3 áreas que poderão ser utilizadas para a implantação do centro de triagem. Ressalta-se que são áreas pertencentes à prefeitura, sendo assim, não haverá custo associado à aquisição desses locais.

Figura 3 - Imagem de satélite destacando as 3 áreas disponíveis para instalação de um centro de triagem em São Gonçalo do Rio Abaixo (MG).

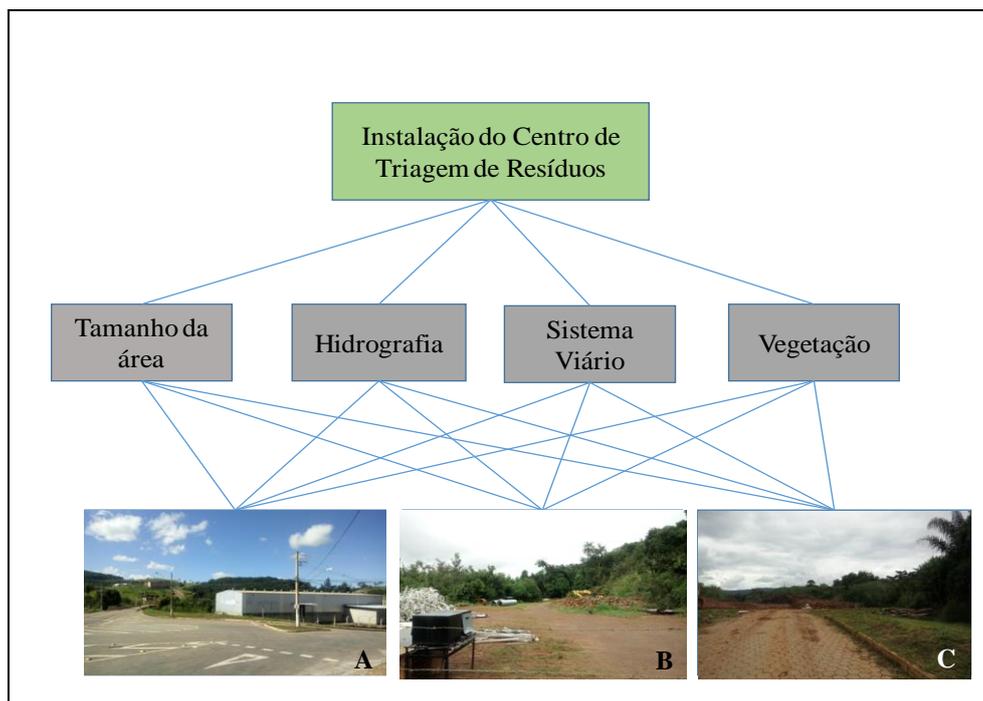


Fonte: Modificado de Google Earth (2019).

Dentre as alternativas apresentadas, a área 1 (Figura 4A) localizada às margens da Rodovia MG 129, e a área 2 (Figura 4B), localizada na rua Dois, estão situadas no perímetro do Distrito Industrial I. Já a área 3 (Figura 4C), está localizada na localidade de Perobas, distante aproximadamente 5 km da área urbana.

Para a utilização do método AHP foi elaborada uma matriz de avaliação de alternativas em relação aos seguintes critérios: (i) análise do tamanho da área, avaliando se as alternativas, teriam dimensão adequada para a construção do centro de triagem; (ii) a proximidade com os cursos hídricos, considerando que quanto mais próximo, pior é a alternativa; (iii) se há necessidade da remoção da vegetação; (iv) a proximidade com relação ao sistema viário, considerando, neste caso, além de acesso adequado e proximidade da área urbana para redução dos custos de transporte, a promoção de impactos nas vias principais do município, decorrentes de movimentações dos veículos de coleta (Figura 4).

Figura 4 – Árvore de critérios do método AHP utilizada nesta pesquisa e alternativas locais para a construção do aterro sanitário: (A) Área 1, (B) Área 2 e (C) Área 3.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

Utilizou-se também como referência para a escolha dos fatores as restrições de distância mínima de 300 m de cursos d'água e 100 m do sistema viário presentes na Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais (COPAM) nº

118/2008 (Minas Gerais, 2008), e os impactos ambientais negativos causados.

Dentre as alternativas apresentadas no Quadro 3, destaca-se que a área 1 está localizada às margens da Rodovia MG 129. Essa proximidade é interessante para a locação do centro de triagem, já que o acesso para este não poderá estar a uma distância menor que 100 m do sistema viário, para não dificultar o tráfego dos veículos comuns, devendo-se considerar também que o transporte dos resíduos e a operação do centro de triagem devem ser funcionais. Apesar de não possuir vegetação, esta área está a uma distância inferior a 300 m do Rio Santa Bárbara, o que poderá ocasionar impactos negativos dos resíduos sólidos sobre os cursos hídricos.

Quadro 3 - Comparações das alternativas 1, 2 e 3 com os critérios relacionados ao tamanho da área, hidrografia, sistema viário e vegetação.

Critérios	Área 1	Área 2	Área 3
Tamanho da área	1.244,1 m ²	1.940,6 m ²	1749,1 m ²
Distância aproximada do curso hídrico	30 metros	20 metros	600 metros
Distância do sistema viário	15 metros	800 metros	1000 metros
Remoção de vegetação	não	sim	sim

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A área 2, localizada na Rua Dois, é a maior dentre as alternativas analisadas, porém há necessidade de remoção da vegetação, além de também estar muito próxima ao Rio Santa Bárbara. Destaca-se que alternativas 1 e 2 estão situadas no perímetro do Distrito Industrial I.

Já a área 3, localizada na localidade de Perobas, possui distância de 1 km do sistema viário e possui tamanho adequado para a construção do centro de triagem (maior que 1260 m²). Apesar de uma maior distância do curso hídrico, há necessidade de remoção da vegetação.

A Tabela 1 representa as análises paritárias que permitiram a hierarquização das alternativas disponíveis para a construção do centro de triagem em função da importância dos critérios, sendo definidos como mais importantes a hidrografia e a vegetação, e menos importantes o tamanho da área e o sistema viário.

Tabela 1 – Matriz comparativa entre os critérios analisados nesta pesquisa.

	Tamanho da área	Hidrografia	Vegetação	Sistema viário
Tamanho da área	1	1	1	2
Hidrografia	1	1	3	3
Vegetação	1	1/3	1	3
Sistema viário	1/2	1/3	1/3	1
Σ	3,5	2,7	5,3	9,0

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A partir do somatório de cada linha de comparação e determinação da média considerando os 4 critérios, é possível observar que a hidrografia obteve maior peso, o tamanho da área e a vegetação obtiveram pesos semelhantes, enquanto o sistema viário apresentou menor peso. A obtenção da comparação normalizada dos pesos dos critérios pode ser verificada na Tabela 2, que apresenta a divisão do peso atribuído a cada critério pela soma da coluna correspondente na Tabela 1.

Tabela 2 - Comparação normalizada do grupo de critérios

	Tamanho da área	Hidrografia	Vegetação	Sistema viário	Σ	Pesos dos critérios
Tamanho da área	0,2857	0,3750	0,1875	0,2222	1,0704	0,2676
Hidrografia	0,2857	0,3750	0,5625	0,3333	1,5565	0,3891
Vegetação	0,2857	0,1250	0,1875	0,3333	0,9315	0,2329
Sistema viário	0,1429	0,1250	0,0625	0,1111	0,4415	0,1104

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Um exemplo das alternativas propostas comparadas duas a duas com os critérios estabelecidos pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Prioridades das alternativas considerando o peso dos critérios.

Tamanho da área	A1	A2	A3		
A1	1	1/3	1/3		
A2	3	1	1/2		
A3	3	2	1		
Σ	7	3,3333	1,8333		
Tamanho da área	A1	A2	A3	Σ	Pesos dos critérios
A1	0,1429	0,1	0,1818	0,4247	0,1416
A2	0,4286	0,3	0,2727	1,0013	0,3338
A3	0,4286	0,6	0,5455	1,5740	0,5247

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A comparação duas a duas das alternativas considerando cada um dos critérios permitiu a obtenção da Tabela 4, que possibilitou identificar que a melhor alternativa é a área 3, que mesmo não sendo a maior e possuindo vegetação próxima, possui acesso ao sistema viário e não está próxima à um curso hídrico, critério considerado de maior importância nesta análise.

Tabela 4 - Prioridades das alternativas considerando o peso dos critérios

	Tamanho da área	Hidrografia	Vegetação	Sistema viário	Σ
Pesos dos critérios	0,2676	0,3891	0,2329	0,1104	
A1	0,0379	0,0551	0,0824	0,0188	0,1941
A2	0,0893	0,1299	0,1295	0,0229	0,3716
A3	0,1404	0,2042	0,0210	0,0687	0,4343

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para que seja verificada a consistência dos resultados, ou seja, se os pesos calculados são aceitáveis ou não, foi feita a análise de consistência, sendo obtido índice de consistência igual a 0,059 e taxa de incoerência igual a 6,50%. Assim, uma vez que no método AHP é desejável que o IC seja menor que 0,10, os cálculos das matrizes são consistentes.

Apesar dos resultados obtidos indicarem a área 3 como melhor alternativa, ressalta-se que compete aos administradores públicos, tomadores de decisão, a escolha final, que muitas vezes não está atrelada aos critérios técnicos.

4. Considerações Finais

Considerando que a produção de resíduos sólidos está vinculada ao crescimento da população e que em qualquer processo envolvendo seu tratamento haverá rejeitos, a melhor solução é reduzi-los e separá-los na fonte, adequando o seu gerenciamento à legislação ambiental, desde a origem até sua destinação final.

Dessa forma este trabalho objetivou utilizar o método AHP para a seleção de terrenos visando a instalação de um centro de triagem na cidade de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG), além de caracterizar a geração e destinação dos resíduos sólidos na cidade.

Notou-se que devido ao crescimento da população, haverá aumento da geração de resíduos no município. Além disso, verificou-se que a coleta de resíduos sólidos urbanos ocorre de segunda a sábado, abrangendo tanto a área urbana quanto a rural do município. Destaca-se que a coleta nos bairros centrais é realizada diariamente, por outro lado, nos demais bairros, assim como na zona rural, os resíduos são coletados três vezes por semana.

O município também possui serviço de coleta seletiva, com frequência diária na área central. Os resíduos coletados são destinados ao galpão de reciclagem, situado na área adjacente ao aterro sanitário.

Ressalta-se que não há uma estação de transbordo para os resíduos, que são coletados nas vias e encaminhados diretamente para a área do aterro da cidade, assim como não há um

controle de entrada desses materiais. No entanto, recomenda-se que esses resíduos sejam pesados e caracterizados, uma vez que esse processo contribui para a melhoria do desempenho e a efetividade de um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos.

Além disso, como alternativas para amenizar os problemas associados aos resíduos sólidos sugere-se a realização de campanhas para a sensibilização da população, incentivando a reutilização de embalagens, os benefícios relacionados ao uso de embalagens retornáveis e a separação correta dos resíduos sólidos.

Uma outra medida que poderia contribuir para a redução dos resíduos encaminhados para o aterro sanitário, estendendo sua vida útil, está associada à implantação de uma usina de compostagem em São Gonçalo do Rio Abaixo. Destaca-se que o composto produzido poderia ser utilizado para a produção de fertilizantes orgânicos, ajudando no equilíbrio ecológico do solo.

Visando a seleção da melhor alternativa para a instalação de um centro de triagem, foi utilizado o método AHP e adotados critérios relativos às áreas selecionadas, como a presença de recursos hídricos e vegetação, tamanho da área e proximidade do sistema viário. A partir dos dados obtidos constatou-se que a melhor alternativa para a implantação do centro de triagem é a área 3, situada na localidade de Perobas, que mesmo não sendo a maior e possuindo vegetação próxima, possui acesso ao sistema viário e não está próxima a um curso hídrico, critério considerado de maior importância nesta análise.

Neste contexto, salienta-se as possibilidades envolvendo a utilização do método AHP para outras decisões envolvendo o poder público, uma vez que sua análise é pautada em critérios racionais, permitindo, dessa forma, a escolha da melhor ou da mais adequada alternativa.

Por fim destaca-se a importância de novas pesquisas envolvendo tecnologias para tratamento e destinação final dos resíduos sólidos, na busca por soluções alternativas para a minimização dos rejeitos, visando o desenvolvimento sustentável.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2004). *ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. (2017). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Acesso em 05 de março de 2019 em http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm.

Barros, R. T. V. (2012). *Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos*. Belo Horizonte: Tessitura.

Botelho, J. M. & Cruz, V. A. G. (2013). *Metodologia Científica*. Pearson Education do Brasil.

Brasil. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, de 02 de agosto de 2010. Acesso em 18 de março de 2019 em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm.

Campos, V. R. (2011). *Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento*. Tese de Doutorado em Economia, Organizações e Gestão do Conhecimento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Casarin, D. S. (2013). *Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos no município de MorroRedondo/RS*. Trabalho de conclusão de curso em Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas/RS.

Costa, H. G. (2002). *Introdução ao método de análise Hierárquica, Análise Multicritério no Auxílio à decisão*. Acesso em 20 de abril de 2019 em <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0279.pdf>.

Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. (2008). *Cartilha de Orientações Técnicas, para atendimento a Deliberação Normativa 118/2008, do Conselho Estadual de Política Ambiental*. 3ª edição. Belo Horizonte/MG, 2008.

Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. (2006). *Manual de Saneamento*. 4ª ed. Brasília.

Gerhardt, T. E & Silveira, D. T. (2009). *Métodos de Pesquisa*. Editora da UFRGS, Porto Alegre.

Gil, A. C. (2002). *Como Elaborar projetos de Pesquisa*. 4ª Edição. Editora Atlas S. A., São Paulo.

Google. *Google Earth*. (2019). Versão 7.1.5.1557. 2017. Nota (Município de São Gonçalo do Rio Abaixo - MG). Acesso em 16 de setembro de 2019 em <http://www.google.com/earth/download/ge/agree.html>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2010). *Carta Internacional ao Milionésimo*. Acesso em 16 de setembro de 2019 em <http://mapas.ibge.gov.br/interativos/servicos/wms-do-arcgis>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2018). *Estimativas de população em 2018*. Acesso em 15 de março de 2019 em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sao-goncalo-do-rio-abaixo/panorama>.

Jacobi, P. (2006). *Gestão compartilhada dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo: Annablume.

Marconi, M. A & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos da Metodologia Científica*. 5ª ed. São Paulo: Atlas.

Minas Gerais. *Deliberação Normativa nº 118, de 27 de junho de 2008*. Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Belo Horizonte: Diário Executivo.

Ministério do Meio Ambiente. (2019). *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Acesso em 05 de março de 2019 em <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>.

Naruo, M. K. (2003). *O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando Sistema de Informações Geográficas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em transportes. USP- Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Rio Abaixo. (2019). *Dados demográficos*. Acesso em 08 de março de 2019 em <http://www.saogoncalo.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/historia/6526>.

Saaty, T. (1990). *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*. North-Holland, 26 p. Acesso em 12 de junho de 2019 em <http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/06f167ef-b243-48ed-8c45-f7466b3136eb/WebPublishings/How%20to%20make%20decision%20AHP.pdf>.

Santos, V. F. M. (2017). *Estatística descritiva básica e centralidade*. Acesso em 04 de novembro de 2019 em <https://www.fm2s.com.br/estatistica-descritiva-basica-e-centralidade>.

SHS - Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda. (2017). *Prognóstico contemplando objetivos e metas por componente do saneamento e alternativas institucionais para a gestão dos serviços de saneamento básico no município*. São Gonçalo do Rio Abaixo, MG.

Vergara, S. C. (2003). *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 2ª ed. São Paulo: Atlas.

Zanta, V. M.; Marinho, M. J. M. Do R.; Lange, L. C.; Pessin, N. (2006). Resíduos Sólidos, Saúde e Meio Ambiente: Impactos associados aos lixiviados de aterro sanitário. In: Castilhos Junior, Armando B. (Coord.). *Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Anderson Chester Gomes Gonçalves – 25%

Janaina de Cássia Lopes Cordeiro – 25%

Tamiris Aparecida Félix Gonçalves Santos – 25%

Juni Cordeiro – 15%

Maria Auxiliadora Lage – 10%