

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS À INSTALAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DESCENTRALIZADAS NO MUNICÍPIO DE MONTE CARMELO - MG UTILIZANDO O MÉTODO AHP E ÁLGEBRA DE MAPAS**

Ana Carolina Pires Dos Santos<sup>1</sup>  
Jaqueline Vicente Matsuoka<sup>2</sup>

**RESUMO**

O tratamento do esgoto doméstico por parte do poder público é um problema eminente, tanto em grandes quanto em pequenas cidades, isso ocorre devido à falta de planejamento urbano, falta de tecnologias adequadas e de preparo técnico da equipe para tal planejamento. Visto isso, esse trabalho tem como objetivo mostrar que é possível realizar a identificação e o planejamento de áreas aptas a implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (descentralizadas), ou seja, como menor porte e atendimento limitado, para atender pequenas cidades, utilizando métodos simples e tecnologias de baixo custo ou gratuitas para isso. A vantagem desse tipo de tratamento de esgoto, é que o mesmo pode evitar a necessidade de grandes sistemas de coleta, reduzindo assim as cargas poluentes direcionadas a um único corpo receptor. Assim, o presente trabalho teve como objetivo mapear áreas urbanas aptas a receberem as ETES descentralizadas, no município de Monte Carmelo-MG e no distrito de Celso Bueno, utilizando o método de análise hierárquica de processo (AHP) e álgebra de mapas, para gerar os mapas de critérios que influenciem nessa seleção como: declividade do terreno, vegetação, tipos de solo e densidade urbana. Além disso, utilizou-se o software livre de geoprocessamento QGIS 3.12, para a implementação do banco de dados utilizado na geração dos mapas. Como resultado final obteve-se um mapa mostrando as áreas aptas à implantação das ETES com base nos pesos dados aos critérios citados anteriormente, e que se mostrou bastante coerente ao ser confrontado com as exigências para a implantação das estações.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise hierárquica, geoprocessamento, tratamento de esgoto

**ABSTRACT**

The treatment of domestic sewage by the government is an eminent problem, both in large and small cities, this is due to the lack of urban planning, lack of adequate technologies and technical preparation of the team for such planning. Therefore, this work's main goal is to show that is possible to identify and plan the areas suitable for the implementation of Sewage Treatment Stations (decentralized), that means, smaller and with limited services, to serve small cities, using methods low cost or free technologies for that. The advantage of this type of sewage treatment is that it can avoid the need for large collection systems, thus reducing pollutant loads directed to a single receiving body. Thus, this study aimed to map urban areas able to receive decentralized STS's, in the County of Monte Carmelo-MG and in the district of Celso Bueno, using the hierarchical process analysis method (HPA) and map algebra, to generate the maps of criteria that influence this selection, such as: slope of the land, vegetation, soil types and

<sup>1</sup> Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Mário Palmério - UNIFUCAMP

<sup>2</sup> Mestre em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
GETEC, v.10, n.34, p.1-20/2021

urban density. In addition, the free geoprocessing software QGIS 3.12 was used to implement the database used to generate the maps. As a final result, a map was obtained showing the areas suitable for the implantation of STS based on the weights given to the criteria mentioned above, and which proved to be quite consistent when faced with the requirements for the implantation of stations.

**KEYWORDS:** hierarchical analysis, geoprocessing, sewage treatment

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil a falta de saneamento básico infelizmente é um dos principais problemas, tanto em grandes centros quanto em pequenas cidades. Esse problema se dá devido ao crescimento acelerado das cidades, à falta de planejamento urbano, à falta de investimento em infraestrutura urbana etc., Nos grandes centros urbanos existe uma divisão entre ‘cidade rica’ e ‘cidade pobre’, o que faz com que as áreas centrais das cidades sejam privilegiadas e tenham acesso a todos os serviços de saneamento, enquanto os bairros da periferia, que concentram a população de baixa renda não possuem saneamento básico, acarretando diversos problemas de saúde pública, ambientais e sociais.

Segundo a lei nº 11.445 Brasil (2007) que estabelece diretrizes para o saneamento básico nacional, visando além de outras, uma melhora na rede de tratamento de esgoto adequado, incentivando os municípios na construção de Estações de Tratamento de Esgotos de águas servidas, vindo a contribuir com a saúde pública contra a disseminação de doenças através do contato direto com água contaminada com dejetos, que em muitos casos são despejados no solo, nascentes, córregos e rios sem um tratamento adequado (POLLO; CAMPOS; SILVEIRA, 2017).

Segundo Santos et al. (2014) em zonas que a implantação de sistemas complexos de coleta se torna inviável, a adoção de estação de tratamento de esgoto descentralizada não é apenas uma solução a longo prazo para pequenas comunidades, mas a de melhor confiabilidade com relação ao custo/benefício mais efetiva.

Uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário - ETE é parte constituinte do sistema de esgotamento sanitário que através de processos físicos, químicos ou biológicos extrai as cargas poluentes do esgoto sanitário, devolvendo ao ambiente efluente tratado, em consonância com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental (VON SPERLING, 2005).

São vários critérios essenciais para indicar áreas apropriadas à sua instalação. Os principais aspectos que devem ser considerados para a locação devem ser: a disponibilidade de área; a sua localização em relação ao local de geração de esgotos; a sua distância e a capacidade de depuração do corpo receptor; a topografia da área; as características geológicas; a direção dos ventos predominantes; as condições de acesso; facilidade de aquisição do terreno (VON SPERLING, 2005).

Considerando o elevado número de variáveis envolvidas na seleção de uma área para a implantação de uma ETE, a problemática inicial está na obtenção de informações de qualidade e em quantidade com o menor custo possível. Analisando esses fatores, o sensoriamento remoto mostra-se uma ferramenta consistente, gerando informações para inventariar de forma permanente qualquer região de interesse técnico ou científico, sendo assim, um instrumento básico para nortear as ações de planejamento e gestão (RAMOS *et al.*, 2004; NOVO, 2012; IGLESIAS *et al.*, 2014).

Aliado ao sensoriamento remoto, está a utilização de ferramentas que possibilitem a análise dos dados de forma rápida e eficiente. Correlacionando todos os parâmetros, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), as tecnologias de geoprocessamento, mostra-se uma das ferramentas mais adequadas, objetivando resolver problemas complexos de planejamento (CAMARGO, 1997; HUTTON; CHASE, 2016). Eles permitem a visualização dos parâmetros em camadas, utilizando dados georreferenciados, possibilitando a operação matemática das mesmas, utilizando-se dos mapas como parâmetros em equações de forma a auxiliar na tomada de decisão, procedimento conhecido como Álgebra de Mapas (PARANHOS FILHO *et al.*, 2016).

Analisando toda a problemática descrita acima, assim como as melhores ferramentas para a realização de uma análise de área para a implantação de um ETE, a área de estudo escolhida é município de Monte Carmelo – MG, com um enfoque no distrito de Celso Bueno, o qual enfrenta grandes problemas em relação ao tratamento de esgoto sanitário.

## **1.1 Objetivo geral**

O objetivo principal deste trabalho é utilizar as ferramentas de geoprocessamento, análise multicritério AHP, álgebra de mapas para identificar áreas aptas a receber ETES descentralizadas na cidade de Monte Carmelo – MG, em especial no distrito de Celso Bueno, por conta dos problemas enfrentados com o tratamento de esgoto sanitário.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Avaliar quais critérios (fatores) que contribuam para a implantação de estações de tratamento de esgoto: como tipos de solo, declividade, altimetria, uso e cobertura do solo, áreas edificadas, vegetação, etc.;
- Selecionar os dados vetoriais, tais como tipos de solo, faces de quadra, hidrografia, limite do município, uso e cobertura do solo, dados de altitude (MNT - SRTM) e imagens do satélite LANDSAT 8;
- Criar os planos de informação e compatibilizá-los entre si, caso seja necessário e implementar o banco de dados geográficos;
- Gerar os mapas de critérios (fatores) que influenciam na implantação das ETEs, com base nos planos de informação da etapa anterior;
- Gerar a matriz de decisão utilizando o método AHP, determinando assim os pesos para cada fator;
- Realizar a álgebra dos mapas de critérios para obter um mapa das áreas aptas à implantação das ETEs.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Sistemas de Tratamentos Descentralizados**

Segundo Limeira (2018, apud CETESB,1988) a escolha de um tipo de sistemas de tratamento de esgoto depende de diversos fatores, onde os mais evidentes são: sua topografia do local destinado e sua bacia de drenagem, área disponível para a realização da ETE, volumes diários e suas respectivas variações, características do corpo receptor, características climáticas da região, capacidade para reaproveitamento e disposição dos resíduos provenientes do tratamento. Considerando também viabilidade onde será instalada a ETE, considerando o número de habitantes e a disponibilidade do local.

O sistema Descentralizado de esgoto pode ser definido como a coleta, o tratamento e a disposição final ou reuso de águas residuárias de residências, comunidades isoladas, bairros afastados, indústrias e instituições públicas próximas ao ponto de geração de esgoto, e tem como

objetivo principal a saúde pública, a proteção de meio ambiente da contaminação e degradação humanas e a redução dos custos de tratamento pela retenção dos resíduos líquidos e sólidos próximos a origem, viabilizando seu reuso Mendonça (2015) apud CRITES; TCHOBANOGLOUS, 1998)

As estações descentralizadas, segundo a legislação vigente no Brasil, são aquelas com vazão nominal de projeto menor ou igual a 50L/s, ou com capacidade para atendimento para até 30.000 habitantes, a critério do órgão ambiental competente (BRASIL, 2007).

De acordo com Mendonça (2015) entende-se por sistema local ou descentralizado de tratamento de esgoto, o sistema de saneamento onde as distancias entre as fontes geradoras de esgoto, seu tratamento e disposição final são próximas entre si, não necessitando de uma rede coletora extensa.

## **2.2 GEOTECNOLOGIAS**

De acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2001) geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica.

Para Câmara et al. (2001), trabalhar com geoinformação significa, antes de mais nada, é utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados. Deste modo, o problema fundamental da Ciência da Geoinformação é o estudo e a implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico. Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Ou ainda, que “o espaço é uma linguagem comum” para as diferentes disciplinas do conhecimento (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

Com o avanço da tecnologia e a grande capacidade de armazenamento e processamento de dados através de computadores, tornou-se possível o funcionamento de softwares capazes de interagir com informações geográficas, representando-as em ambiente digital (TEXEIRA, 2015). A combinação de informações com um ambiente digital limitado apenas por características computacionais dos meios de processamento garante dados com incríveis precisões em projeções na engenharia onde há benefícios em relação ao tempo e recursos (OLIVEIRA, 2018).

A origem da tecnologia de geoprocessamento se desenvolveu por interesses militares, principalmente pela capacidade de sensoriamento remoto, dos quais se obtém dados ambientais atualizados, atualmente o geoprocessamento se tornou bastante disseminado para fins não militares (SILVA; ZAIDAN, 2007).

Se considerarmos certas deficiências em relação à qualidade e também quantidade de informações para projeções e tomadas de decisão no âmbito urbano, o geoprocessamento oferta um grande potencial com custos relativamente baixos. Parte disso se deve a ferramentas e informações de boa qualidade disponíveis gratuitamente (TEIXEIRA, 2015).

### 2.3 Álgebra de Mapas

O termo Álgebra de Mapas foi cunhado por Tomlin (1990), para indicar o conjunto de procedimentos de análise espacial em Geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas. Os mapas são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre essas variáveis são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa (Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 487).

Os elementos da álgebra de mapas descrita por Tomlin (1990), consistem de mapas que associam a cada local de uma dada área de estudo um valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar) ou qualitativo (nominal). Traduzindo, o modelo de dados adotado por Tomlin consiste desses tipos de dados, ficando o significado das operações a eles aplicadas a cargo do modelador (CÂMARA et al, 2020).

A álgebra de mapas possui uma linguagem especializada para realizar operações que tem tanto um sentido matemático quanto cartográfico e espacial. Essas operações podem ser agrupadas em três grandes classes, sendo elas:

- Pontuais: a saída da operação é um mapa cujos valores são função apenas dos valores dos mapas de entrada em cada localização correspondente. Podem operar apenas sobre um mapa ou realizar interseções entre conjuntos espaciais.
- Vizinhança: o resultado é um mapa cujos valores dependem da vizinhança da localização considerada. Exemplos é a filtragem espacial de uma imagem e o cálculo de declividade de um MNT.
- Zonais: definidas sobre regiões específicas de um mapa de entrada, onde as restrições são fornecidas por outro mapa.

## 2.4 Processo Analítico Multicritério – AHP

O método *AHP* (*Analytic Hierarchy Process*) é uma metodologia matemática que visa ponderar quantitativamente as variáveis em função da interação dos critérios propostos na pesquisa e faz isso em forma de considerações qualitativas. Os pesos são obtidos através das comparações das variáveis que fazem parte do problema proposto. O AHP propõe a atribuição de pesos aos diferentes mapas de critérios a serem cruzados nos SIGs, assim como ponderar as diferentes classes pertencentes a cada mapa. Toda vez que pesos forem atribuídos a um mapa ou a uma classe temática, uma tomada de decisão está ocorrendo (RAFFO, 2012).

Tal metodologia foi criada na década de 70, por Thomas Saaty. Segundo esse autor, os pesos são atribuídos aos critérios de acordo com o grau de importância relativa entre eles, como mostra o quadro 1. Os critérios são analisados e comparados aos pares, utilizando a escala de Saaty de números absolutos, os quais permitem atribuir valores numéricos quantitativos como qualitativos aos julgamentos (SAATY, 1970).

Quadro 1 – Grau de importância relativa entre os critérios.

<b>INTENSIDADE DA IMPORTÂNCIA</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>EXPLICAÇÃO</b>
<b>1</b>	Igual importância.	As duas atividades contribuem igualmente ao objetivo final.
<b>3</b>	Menor importância de um sobre o outro.	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação a outra.
<b>5</b>	Essencial ou forte importância de um sobre o outro.	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra.
<b>7</b>	Importância significativa.	Uma atividade é fortemente favorecida e está dominância é

		demonstrada na prática
<b>9</b>	Importância absoluta.	A evidencia favorecendo uma atividade em relação a outra é da ordem mais alta possível.
<b>2, 4, 6, 8</b>	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes.	Quando há necessidade de compromisso recíproco (diferentes de zero) se a atividade i tem os números acima atribuídos a ela quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i.

Fonte: Saaty, (1970).

O método converte as comparações em números, e estas comparações entre os critérios são registradas em uma matriz, como mostra a tabela 1, em forma de fração entre 1/9 e 9. Cada matriz é analisada através do seu autovalor, para que seja avaliada a coerência dos seus julgamentos, a qual é denominada de razão de coerência, que será igual a 1, caso todos os julgamentos forem coerentes entre si.

Tabela 1 – Matriz de comparação aos pares

<b>VARIÁVEIS</b>	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Fonte: Adaptado de Alves (2019)

O índice de consistência é calculado por meio da seguinte equação:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (1)$$

O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. Como regra geral, se o índice de consistência for menor que 0.1, existe consistência para prosseguir com os cálculos. Caso for mais que 0.1, recomenda-se que os julgamentos sejam refeitos até que a consistência aumente.

### **3 MATERIAL E MÉTODO**

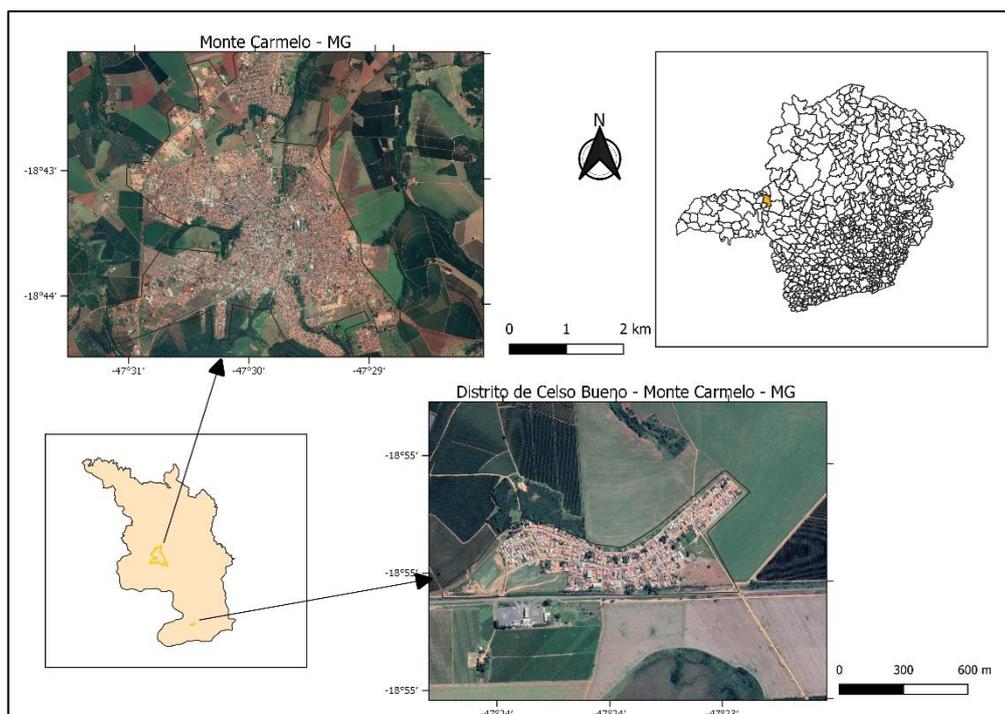
#### **3.1 Área de estudo**

Segundo os dados do IBGE (2019), o último censo realizado, a cidade de Monte Carmelo, onde se localiza o distrito de Celso Bueno, possui 1.343,035 Km<sup>2</sup> de área em seu território, sua população está estimada em 47.809 pessoas.

O distrito de Celso Bueno teve um aumento de habitantes, devido ao agronegócio, especificamente a cafeicultura, a qual necessitava de trabalhadores braçais para as colheitas. Sendo assim, muitas famílias as quais chegaram apenas nessa época acabaram fixando moradia no distrito, contribuindo assim para o seu crescimento.

Como mostra a Figura 1, o distrito está localizado no município de Monte Carmelo - MG, região do Triângulo Mineiro, a uma distância de 33,1 km do centro da cidade e tem acesso à BR 365, sentido Patrocínio.

Figura 1 – Localização do Município de Monte Carmelo e do Distrito de Celso Bueno



Fonte: A autora (2020)

### 3.2 Etapas de realização do trabalho

Os dados utilizados em todo trabalho foram obtidos de fontes (órgãos públicos nacionais e internacionais) que tem a função de gerar, validar e disponibilizar gratuitamente tais dados, em escalas, sistema de coordenadas e resoluções compatíveis entre si e com o objetivo do trabalho, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Planos de informação e dados utilizados.

<b>DADO</b>	<b>TEMA</b>	<b>FONTE</b>	<b>ANO</b>	<b>ESC./RESOLUÇÃO</b>
Setor Censitário	Área Urbana	IBGE	2018	1:250.000
MNT / SRTM	Declividade	Embrapa relevo	2020	30 m
Imagens LANDSAT 8	NDVI	USGS Earth Explorer	2020	30 m
Cobertura e Uso da terra	Cobertura	IBGE	2018	1:250.000
Faces de quadra	Densidade Urbana	IBGE	2018	1:250.000

Mapa de solos de MG	Solos	Embrapa solos	2017	1:1.000.000
---------------------	-------	---------------	------	-------------

Fonte: A autora (2020).

O trabalho dividiu-se em etapas as quais são descritas a seguir:

1. Análise e definição dos critérios de influência para definição da área de instalação;
2. Compatibilização dos dados, implementação do SIG e criação das camadas de dados utilizando o software QGIS 3.12;
3. Geração e ponderação das camadas de critérios;
4. Cálculo da matriz de decisão e do autovetor de pesos utilizando a calculadora AHP on line;
5. Realização da álgebra de mapas no QGIS 3.12 utilizando os mapas de critérios e pesos obtidos nas etapas anteriores;
6. Obtenção do mapa de áreas aptas a implantação das ETES.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Implementação do SIG e geração dos fatores**

Após a obtenção dos dados, realizou-se a compatibilização dos sistemas de coordenadas, pois alguns deles se encontravam em sistemas distintos, o que ocasionaria um erro de localização. Somente após esse procedimento os dados foram inseridos no software QGIS 3.12, o qual é disponibilizado gratuitamente, resultando assim em um banco de dados geográficos.

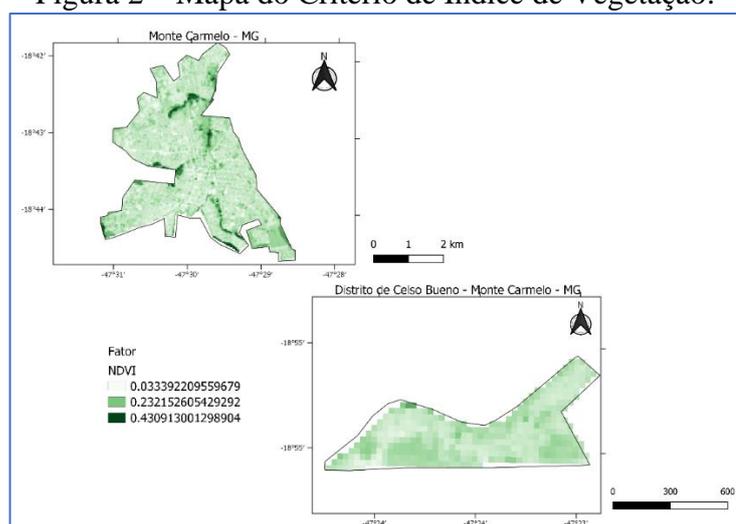
O projeto foi criado utilizando o sistema de referência utilizado no Brasil e nos países da América Latina, SIRGAS 2000 /UTM 22. Após a inserção de todos os planos de informação (camadas de dados), as quais abrangiam a área do Estado de Minas Gerais, as mesmas foram recortadas, com base no arquivo shapefile que abrange apenas a área urbana de Monte Carmelo e o distrito de Celso Bueno, áreas objeto da pesquisa.

#### **4.1.1 Índice de Vegetação Diferença Normalizada**

O mapa de NDVI, demonstrado na Figura 2, é um mapa do índice de vegetação diferença normalizada, o qual traz informações sobre a quantidade de vegetação existente em uma determinada área. Tal índice como o próprio nome diz, é normalizado e foi obtido por

meio de uma álgebra de imagens de satélite utilizando as bandas do vermelho e infravermelho do satélite LANDSAT 8. Esse procedimento resultou em uma terceira imagem com valores digitais entre 0 e 1, sendo que valores mais próximos de 0 significam menos vegetação e valores mais próximos de 1 mais vegetação. Esse índice foi utilizado como fator, pois através dele é possível saber se uma área possui ou não vegetação e qual a sua densidade/ quantidade. Caso ocorra vegetação em determinada área, fica subentendido que a mesma não possui nenhum tipo de edificação e trata-se de uma área “livre” e com potencial para instalação de uma ETE.

Figura 2 – Mapa do Critério de Índice de Vegetação.

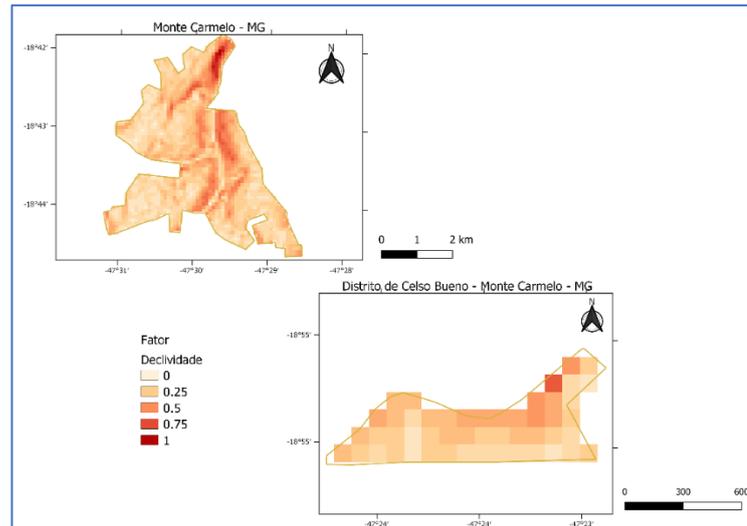


Fonte: A autora (2020).

#### 4.1.2 Fator Declividade

Nesta etapa foi adicionado à camada MNT 18S48 ZN, a qual gerou o mapa de declividade. Posteriormente essa camada foi normalizada, para que ficasse na mesma escala de grandeza do restante dos dados. Esse processo foi realizado utilizando a calculadora raster do QGIS, com a seguinte equação: (“decliv\_reclas”- 621) / (621 - 1087), obtendo-se assim o fator altitude normalizada, como mostrado na figura 3.

Figura 3 – Mapa do Critério de Declividade

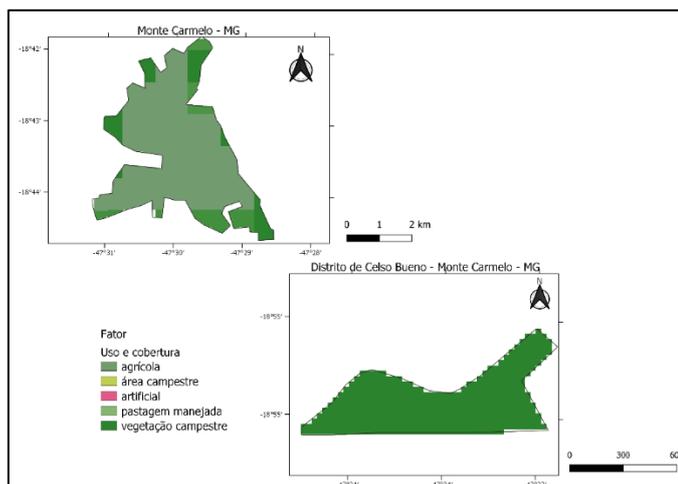


Fonte: A autora (2020).

#### 4.1.4 Uso e cobertura do solo

Esse fator foi gerado com base no mapa de uso e cobertura do solo do estado de Minas Gerais do IBGE. Para cada classe de uso, foram atribuídos pesos de acordo utilizando o conhecimento de especialistas, lembrando que não foram realizados cálculos de permeabilidade. Para a área estudada foram encontradas as seguintes classes (IBGE, 2020) e atribuídos os respectivos pesos: área artificial – 0,1; área agrícola – 0,9; pastagem com manejo – 0,83 e mosaico de ocupação em área campestre – 0,85, quanto mais próximo de 0 menos propícias à instalação e quanto mais próximos de 1, áreas mais propícias à instalação. Esses pesos, como já dito antes, foram dados com base na opinião de especialistas, o que deixa o processo um tanto subjetivo. A Figura 4 mostra o mapa do fator uso e cobertura.

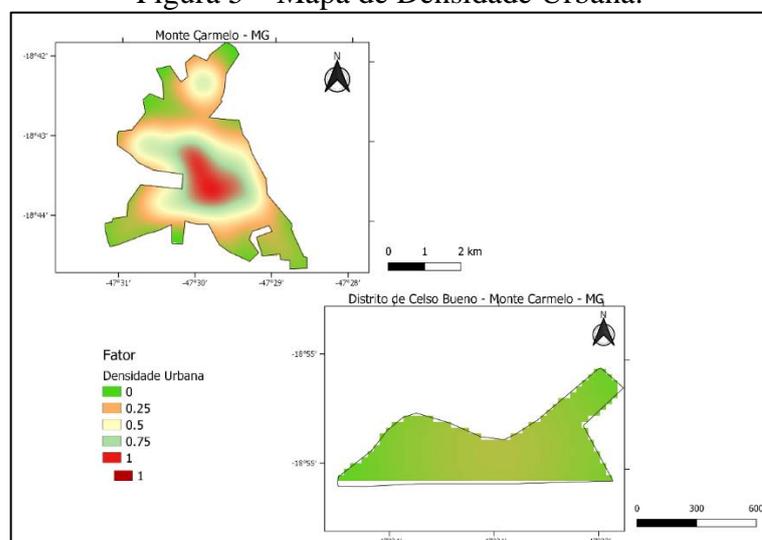
Figura 4 – Mapa do Critério do Fator de Uso e Cobertura do Solo.



#### 4.1.5 Densidade urbana

Para a geração de um mapa de calor foi necessário um shape de pontos, por isso a camada face de quadras, que a princípio era formada por linhas, foi transformada em polígonos e posteriormente geraram-se os centróides para cada um desses polígonos. Utilizando os centróides gerou-se o mapa de calor ou mapa de densidade de kernel. Esse mapa nos dá uma estimativa de densidade demográfica urbana, através da intensidade pontual do fenômeno em toda a região de estudo. Assim, temos uma visão geral da intensidade ou densidade da urbanização em todas as regiões do mapa, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Mapa de Densidade Urbana.



## 4.2 Aplicação do Método AHP

Após a geração de todos os fatores, utilizou-se o *AHP Priority Calculator*, onde se calculou os fatores gerados anteriormente.

- Fator Altitude: a altitude é a que mais influência, pois não pode ser instalado em lugares com altos valores de altitude, pois isso obrigaria a utilização de bombas para levar o esgoto até a estação. Já ao instalar as ETEs em áreas de baixa altitude, a força da gravidade se encarrega do trabalho de levar o esgoto até a estação.
- Fator NDVI: esse fator é um índice de vegetação, quanto mais alto o NDVI, mais vegetação, quanto mais baixo o NDVI, menos vegetação. Ele influencia para encontrar áreas onde não estão construídas, não tenha construção. Se o NDVI é alto, se tem ali ou solo exposto, ou se tem vegetação.
- Fator cobertura: sobrepõe ao Fator NDVI.
- Fator densidade urbana: sobrepõe sobre os três fatores anteriores.
- Fator solo: é um fator que não tem muita influência.

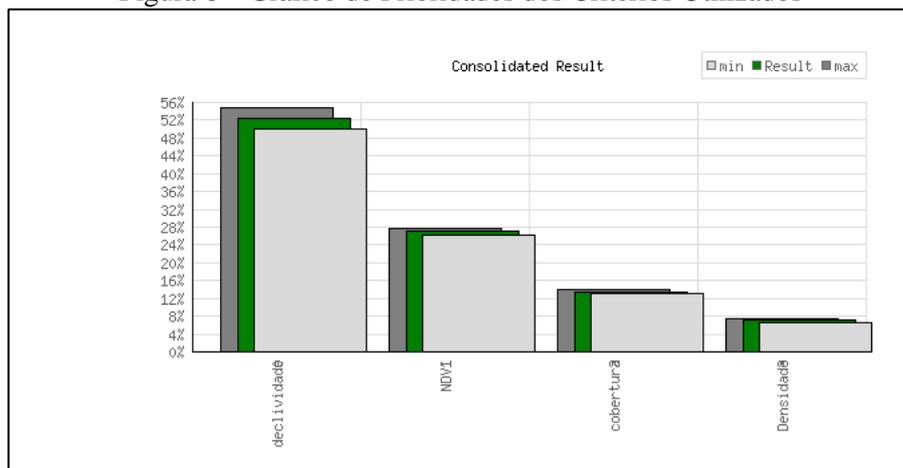
Na matriz do AHP CALCULATOR se deu entrada com 4 fatores, sendo eles:

- Fator Altitude
- Fator NDVI
- Fator Cobertura
- Fator Densidade Urbana

Após o processo realizado na calculadora *AHP*, utilizando todos os critérios, obteve-se o valor de (RC) razão de coerência de 1,7%, o qual se mostra dentro do limiar aceitável para a comparação pareada, ou seja, os critérios utilizados e os pesos informados foram coerentes e o processo de álgebra de mapas pode ser realizado.

Na figura 6, tem-se o gráfico de prioridades, o qual mostra que o fator mais importante nessa análise é a declividade, logo em seguida o tipo de cobertura, o qual mostra se é agrícola, floresta, pasto ou urbana, depois tem-se a densidade de urbana, que mostra a densidade de edificações construídas na área e por último tem-se fator de índice de vegetação, que também tem a função de mostrar áreas livres de construção, onde possam ser implantadas as ETEs.

Figura 6 – Gráfico de Prioridades dos Critérios Utilizados



Fonte: A autora (2020).

Na tabela 3, tem-se a matriz de decisão.

E na tabela 4, os autovetores calculados com base na matriz de decisão. Esses valores de autovetores foram usados para gerar o mapa das áreas aptas a instalação das ETEs.

Tabela 3 – Matriz de Decisão Pareada segundo os critérios utilizados.

Critérios	Densidade	NDVI	Cobertura	Densidade
<b>Declividade</b>	1	4	2	3
<b>NDVI</b>	0.25	1	1	1
<b>Cobertura</b>	0.5	1	1	1
<b>Densidade</b>	0.33	1	1	1
<b>Soma</b>				

Fonte: A autora (2020).

Tabela 4 - Autovetores (Pesos de cada fator na álgebra de mapas)

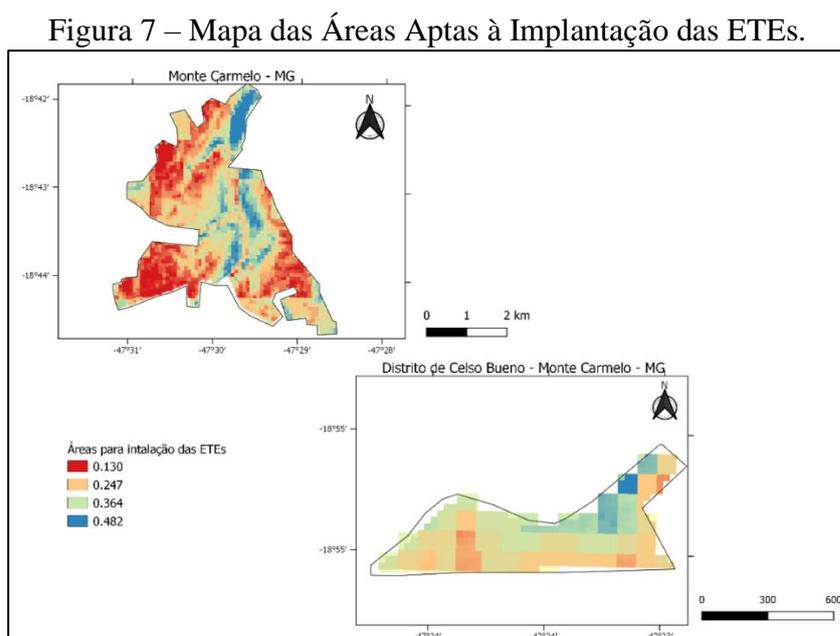
Soma	Autovetores
10	0,526315789
3	0,157894737
3	0,157894737
3	0,157894737
19	1

Fonte: A autora (2020).

Com os valores dos autovetores, no programa QGIS, utilizando a calculadora raster, realizou-se a álgebra de mapas para a obtenção do mapa de áreas aptas à implantação das ETEs,

utilizando a seguinte equação: (“fator\_altitude” \* 0,590909091) + (“fator\_NDVI” \* 0,181818182) + (“fator\_cobertura” \* 0,090909091) + (“fator\_densidade\_urbana” \* 0,136363636)

Após esse processo, obteve-se o mapa das áreas aptas à implantação das ETEs, onde as áreas em vermelho são as áreas menos indicadas para a instalação, e as áreas em azul são as mais indicadas para instalação da ETE, de acordo com a ponderação e o cruzamento dos critérios selecionados, como mostra a Figura 7.



Fonte: A autora (2020).

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os objetivos propostos no início dessa pesquisa, a metodologia utilizada mostrou-se rápida, acessível e consistente. Os resultados obtidos fornecem informações relevantes que vão auxiliar e orientar a administração pública municipal, quanto aos dados e a metodologia a serem utilizados para à implantação de ETEs descentralizadas no município, podendo ser estendida a qualquer outro município. A única ressalva é a de se utilizar dados com resoluções espaciais um pouco melhores, caso a área de estudo seja muito pequena, como é o caso do distrito de Celso Bueno, para que isso o resultado seja melhor.

Em trabalhos futuros, fica a sugestão da utilização de dados da rede de esgoto e rede de drenagem assim como com o distanciamento das vias para uma melhor identificação das áreas.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.; D' ALGE, J. C. Introdução a ciências da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001, 2ª ed. **Revista Ampliada**. Disponível em: < [www.dpi.inpe.br/gilberto/livro](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro)>. Acesso em: 23 nov. 2020.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. U. (2001) - “**Conceitos básicos em ciência da geoinformação**”. In: G. CÂMARA et al. (Ed.) Introdução à ciência da geoinformação, São José dos Campos: INPE. Disponível em: <[WWW.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html](http://WWW.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html)>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CAMARGO, M.U.C. **Sistemas de Informações Geográficas como Instrumento de Gestão em Saneamento**. 1997. Editora: ABES, Rio de Janeiro, 224 p.

CRITES R, Tchobanoglous G. Small and decentralized wastewater management systems. United States of America: McGraw-Hill, Inc; 1998.

HUTTON, G. & CHASE, C. Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress. Int. J. Environ. 2016. Res. **Public Health**, doi:10.3390/ijerph13060536. Acesso em: 23 nov, 2020.

IGLESIAS, A.; NEBOT, C.; VASQUEZ, B.I.; Coronel-Olivares, C.; ABUÍN, C.M. & CEPEDA, A. 2014. Monitoring the Presence of 13 Active Compounds in Surface Water Collected from Rural Areas in Northwestern Spain. Int. J. Environ. Res. **Public Health**, 11: 5251-5272; doi: 10.3390/ijerph110505251.

MENDONÇA, Alexandre Antonio Jacob de. **Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos em escala real composto por tanque séptico e wetland construída híbrida**.. 2015. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Saúde Pública, Não, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Alexandre-3.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

NOVO, E. M. L. M. 2010. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Blucher, 4ª edição, 387 p.

OLIVEIRA, Vinicius Limeira de. **Aplicação de Geotecnologias para Seleção de Áreas Urbanas destinadas a implantação de Estações de Tratamento de Esgoto Descentralizadas em Mossoró**: não tem. 2018. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/3566/2/ViniciusLO\\_MONO.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/3566/2/ViniciusLO_MONO.pdf). Acesso em: 23 nov. 2020.

SANTOS, A. C. P. DOS; MATSUOKA, J. V.

PARANHOS FILHO, A.C.; MIOTO, C.L.; MARCATO JUNIOR, J. & TORRES, T.G. 2016. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. Campo Grande: UFMS, 383 p.

POLLO, Ronaldo Alberto; CAMPOS, Sérgio; SILVEIRA, Gabriel Rondina Pupo da. Análise ambiental por meio de imagens orbitais:: estudo de caso da estação de tratamento de esgotos do município de são manuel-sp.. In: FÓRUM AMBIENTAL, 13. 2017, Estância Turística de Tupá-Sp. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. Tupá-Sp. 2017. v. 1, p. 5-780. Disponível em: <https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/2595/form14638449.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.

RAFFO, J. G. G. O Processo Analítico Hierárquico e Seu Uso Na Modelagem do Espaço Geográfico. **Revista do Departamento de Geografia** – USP, São Paulo, p. 26-37, 2012. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0002>

RAMOS, P. R.; RAMOS, L. A. & LOCH, C. 2004. Sensoriamento Remoto como Ferramenta para a Gestão Ambiental e o Desenvolvimento Local. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 7, Florianópolis: UFSC, COBRAC.

RAMOS, P. R.; RAMOS, L.A. & LOCH, C. 2004. Sensoriamento Remoto como Ferramenta para a Gestão Ambiental e o Desenvolvimento Local. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 7, Florianópolis: UFSC, COBRAC.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal Of Operational Research**, [S.L.], v. 48, n. 1, p. 9-26, set. 1990. Elsevier BV.< [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-i](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-i)>.

SANTOS, Rubens Francisco dos; IRAZUSTRÁ, Silvia Pierre; TEIXEIRA, Elisabeth Pelosi; DEGASPERI, Francisco Tadeu. Abordagem descentralizada para concepção de Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico: não. In: IX WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA, 1516., 2014, São Paulo. **Abordagem descentralizada para concepção de Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico**. Estratégias Globais e Sistemas Produtivos Brasileiros. 2015. v. 1, p. 9-123. Disponível em: <http://www.pos.cps.sp.gov.br/files/artigo/file/450/8d06e2073182d3fa29e8c8e65cc3ba13.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.

SILVA, Alcione Batista, **Avaliação da Produção de Odor na Estação de Tratamento de Esgoto Paranoá e seus Problemas Associados**, Brasília, Bras Tese de M.Sc., Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (FT/UnB), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC), Brasília, (DF), Brasil, 2007.

SILVA, X. S.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e análise ambiental** – aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

TEIXEIRA, M. R., 2015. A Utilização do Geoprocessamento na Análise Ambiental e sua Importância na Tomada de Decisões: um estudo sobre o uso do geoprocessamento em pesquisas sobre ocupação desordenada do solo. TCC (Especialização). Brasília, Uniceub.

Identificação de áreas aptas à instalação de estação de tratamento de esgoto descentralizadas...

**TOMLIN, D. Geographic information systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, New York, 1990.**

**VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.**