



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

VILMAR FELIPE RICARDO BOMFIM

LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS NO ESTADO DO CEARÁ:
UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO TOPSIS

FORTALEZA

2023

VILMAR FELIPE RICARDO BOMFIM

LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS NO ESTADO DO CEARÁ:
UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO TOPSIS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Bruno de Athayde Prata

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V664l Vilmar, Felipe Ricardo Bomfim.

Localização de estações de carregamento de veículos elétricos no estado do Ceará : uma aplicação do método TOPSIS / Felipe Ricardo Bomfim Vilmar. – 2023.
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Bruno de Athayde Prata.

1. Mobilidade sustentável. 2. Estações de carregamento de veículos elétricos. 3. Métodos de apoio à decisão. 4. Método TOPSIS. 5. Estação de recarga de veículos elétricos. I. Título.

CDD 621.042

VILMAR FELIPE RICARDO BOMFIM

LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS NO ESTADO DO CEARÁ:
UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO TOPSIS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Energias Renováveis.

Aprovada em: __/__/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno de Athayde Prata (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª Arielle Elias Arantes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Me Matheus Gomes Correia
Universidade de Coimbra

A Deus.

A meu pai *in memorium*

E principalmente a minha mãe

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me guiado até aqui.

Minha mãe que é a principal razão de eu estar aqui hoje, obrigado por tudo.

Ao meu pai, que gostaria que estivesse presente neste momento.

As minhas duas avós, cada uma com sua singularidade e auxílio na minha criação, minhas duas Marias.

Ao resto da minha família que sempre deu suporte em tudo, enfatizando minhas duas primas Isabelle e Amanda que me deram suporte em muitos momentos da graduação.

Aos meus amigos, principalmente Silvia Letícia companheira de graduação, a qual compartilhamos muitas dores e alegrias durante essa trilha.

E por fim a todos que contribuíram para que essa jornada chegasse até aqui.

“Sustentabilidade é conseguir possibilitar a vida, o crescimento e as relações naturais de maneira justa, diversa, viável e ecológica”

Pércio Campos

RESUMO

O desenvolvimento de alternativas que visem trazer maior sustentabilidade para atividades corriqueiras da sociedade, faz-se cada vez mais necessário, como por exemplo a troca da frota de veículos a combustão por veículos elétricos. Porém, para que tal substituição ocorra de forma satisfatória, é necessário a instalação de ampla infraestrutura para o carregamento dos veículos elétricos. Um dos alicerces desta infraestrutura são as estações de carregamento, já que elas são responsáveis, em sua grande maioria, pela recarga dos veículos elétricos fora da residência de seus proprietários. Instalar uma nova estação de carregamento é de fato um grande investimento, já que requer vários equipamentos com custo elevado e outros requisitos como acesso a rede elétrica, disponibilidade de carregadores entre outros fatores. Os locais para a instalação de novas estações de carregamento depende de vários critérios, e portanto trata-se de um problema de múltiplo critério e para auxiliar na resolução deste problema pode-se aplicar MCDA (*Multi Criteria Decision Aid*). Nesse sentido o objetivo deste trabalho é utilizar o método TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) para determinar locais de implantação de estações de carregamento nos trechos de rodovias estaduais e federais que ligam as cidades de Fortaleza a Juazeiro do Norte. Para melhor implementação do *TOPSIS* foram elaborados critérios qualitativos e quantitativos que endossam a questão de instalação de estações elétricas, ao passo que foi implementado um formulário de consulta pública com especialista da área, para saber a opinião deles acerca destes critérios. Deste modo foi possível executar o TOPSIS e assim consequentemente possível determinar alternativas de localização de pontos de estações de carregamento no trecho.

Palavras-chave: Mobilidade Sustentável; Hidrogênio Verde; Localização de Facilidades; Métodos de Apoio à Decisão.

ABSTRACT

The development of alternatives to bring more sustainability to the everyday activities in society, such as exchanging the fleet of vehicles that use combustion for electric vehicles, is increasingly necessary. However, a replacement of this greatness requires an extensive infrastructure in order to occur satisfactorily and add comfort to the life of the common user. One of the foundations of this infrastructure are the charging stations, because they are mostly responsible for recharging the electric vehicles outside their owners' homes. Installing a new charging station is a major investment indeed, because this kind of station requires several pieces of expensive equipment like access to the electrical grid, availability of chargers among other factors. The locations for installing new charging stations depend on several criteria, and therefore it is a multiple criteria problem and to assist in solving this problem MCDA (Multi Criteria Decision Aid) can be applied. In this sense, the objective of this work is to use the TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) method to determine locations for charging stations on stretches of state and federal highways that connect the cities of Fortaleza to Juazeiro do Norte. To better implement TOPSIS, qualitative and quantitative criteria were developed that endorse the questions of installing electrical stations, while a public consultation form was implemented with experts in the field, to find out their opinion on these criteria. Thus, it was possible to execute the method and, consequently, it was feasible to determine alternative locations for charging points in the highways of the state of Ceará.

Keywords: Electric Mobility; Green Hydrogen; Location of facilities; Decision Support Methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Disponibilidade de carregadores elétricos na rota Fortaleza x Juazeiro do Norte.....	26
Figura 2	Informe do planejador da viagem Plugshare para a rota que passa pelo município de Quixadá	27
Figura 3	Visual da planilha utilizada.....	31
Figura 4	Demonstração da aba base de cálculo.....	32
Figura 5	Conteúdo da célula C3.....	33
Figura 6	Conteúdo da célula C4.....	34
Figura 7	Cenário Ideal (PIS) para critério do tipo MAX.....	36
Figura 8	Cenário Ideal (PIS) para critério do tipo MIN.....	36
Figura 9	Conteúdo da Célula H5.....	37
Figura 10	Conteúdo da Célula I5.....	37
Figura 11	Conteúdo da Célula J8.....	38
Figura 12	Conteúdo célula B7.....	38
Figura 13	Cabeçario do Formulário	39
Figura 14	Percentual de distribuição de respostas.....	43
Figura 15	Implementação dos carregadores no Cenário 1.....	53
Figura 16	Implementação dos carregadores no Cenário 2.....	54
Figura 17	Implementação dos carregadores no Cenário 3.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características dos níveis de estações de carregadores.....	20
Tabela 2	Distância entre as cidades.....	24
Tabela 3	Modelo de veículos elétricos vendidos no Brasil.....	25
Tabela 4	Categorização do vetor mediante ao cenário inserido.....	35
Tabela 5	Características da frota de VE utilizado no Brasil.....	41
Tabela 6	Escala Likert	41
Tabela 7	Respostas coletadas do formulário.....	44
Tabela 8	Constante de normalização dos Critérios.....	45
Tabela 9	PIS e NIS dos critérios.....	45
Tabela 10	Matriz vetorizada.....	46
Tabela 11	D^+ e D^- para alternativas.....	48
Tabela 12	Ranking das alternativas.....	51
Tabela 13	Pódio das alternativas	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP.	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
EC	Estação de Carregamento
MCDA	<i>Multi Criteria Decision Aid</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
VE	Veículos Elétricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Considerações iniciais	15
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	16
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	16
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivo Específicos</i>	16
1.4	Organização	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Métodos de Apoio à Decisão	18
<i>2.1.1</i>	<i>Aplicação de MCDA's em situações de mobilidade elétrica</i>	19
2.2	TOPSIS	21
<i>2.2.1</i>	<i>Construção da matriz decisão</i>	21
<i>2.2.2</i>	<i>Cálculo da constante de normalização</i>	22
<i>2.2.3</i>	<i>Cálculo da matriz normalizada com os respectivos pesos</i>	22
<i>2.2.4</i>	<i>Determinação do PIS e do NIS</i>	22
<i>2.2.5</i>	<i>Cálculo de D^+ e D^-</i>	23
<i>2.2.6</i>	<i>Cálculo da similaridade</i>	23
3	METODOLOGIA	24
3.1	Estudo de caso	24
3.2	Aplicação do método TOPSIS	27
<i>3.2.1</i>	<i>Critérios</i>	28
<i>3.2.1.1</i>	<i>C1 Paradas para recarga</i>	29
<i>3.2.1.2</i>	<i>C2 Tempo para recarga</i>	29
<i>3.2.1.3</i>	<i>C3 Instalação em centros urbanos</i>	29
<i>3.2.1.4</i>	<i>C4 Infraestrutura do local</i>	30

3.2.1.5	<i>C5 Proximidade com restaurantes de postos de gasolina.....</i>	30
3.2.2	<i>Estruturação do TOPSIS no Excel</i>	31
3.2.2.1	<i>Constantes de Normalização.....</i>	32
3.2.2.2	<i>Pesos</i>	33
3.2.2.3	<i>Tipos de critérios.....</i>	33
3.2.2.4	<i>Matriz normalizada.....</i>	34
3.2.2.5	<i>Cenário IDEAL (PIS) e PIOR (NIS)</i>	35
3.2.2.6	<i>D⁺ e D⁻</i>	36
3.2.2.7	<i>Singularidade</i>	37
3.2.2.8	<i>Ranking</i>	38
3.3	<i>Formulário</i>	39
3.3.1	<i>Estrutura formulário</i>	39
3.3.1.1	<i>Q1 Paradas para recarga</i>	40
3.3.1.2	<i>Q2 Tempo para recarga</i>	40
3.3.1.3	<i>Q3 Instalação em centros urbanos</i>	41
3.3.1.4	<i>Q4 Infraestrutura do local</i>	42
3.3.1.5	<i>Q5 Proximidade com restaurantes de postos de gasolina.....</i>	42
3.3.1.6	<i>Q6 Outros fatores</i>	42
4	<i>RESULTADOS.....</i>	43
4.1	<i>Discussão dos resultados</i>	43
4.1.2	<i>Aplicação dos resultados</i>	52
4.1.2.1	<i>Cenário 1</i>	52
4.1.2.2	<i>Cenário 2</i>	54
4.1.2.3	<i>Cenário 3</i>	55
5	<i>CONCLUSÃO</i>	57
6	<i>REFERÊNCIAS.....</i>	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A mobilidade elétrica é um tema muito presente em discussões vivenciadas atualmente, pois os impactos do aquecimento global já podem ser notados em grande escala ao redor do mundo. Portanto, buscar alternativas que amenizem a emissão de gases oriundos da queima de combustíveis fósseis faz-se muito necessário. Deste modo, garantir a ampliação da frota de veículos elétricos (VE's) é de suma importância para assegurar a redução de emissão de gases destrutivos a camada de ozônio.

Para assegurar uma maior expansão de mercado de VE's é necessário que haja paralelamente um aumento nas instalações de estações de carregamento (EC), visto que as mesmas fornecem certa infraestrutura e rede de apoio para usuário de VE, como por exemplo a garantia que há locais de reabastecimento para bateria em determinado trajeto ou localidade. O Brasil de acordo com Vendetti (2023), já possui mais de 3200 postos de recarrega, porém, a maior concentração destes postos concentra-se no eixo sul-sudeste, fazendo que assim no Norte e Nordeste haja pouca concentração, assim impactando a ampliação da frota de VE's nestas regiões, pois a falta de disponibilidade de locais para recarga das baterias, fora sua residência, é um fator com grande impacto na hora da escolha da compra de um veículo elétrico, já que o novo usuário de VE almeja a garantia de poder realizar seus trajetos sem imprevistos.

1.2 Justificativa

O Ceará é um estado com grande potencial energético, de acordo com Camelo et al. (2017) o Ceará é atualmente segundo no ranking de geração eólica nacional, com produção expressiva na matriz energética. Alcançar esse patamar é possível visto que no estado existem programas de incentivos do governo que asseguram este desenvolvimento. Como por exemplo o Decreto 2.486/2017 que tem como beneficiários empresas do ramo energético sustentável, pois a finalidade dele é a geração de energia renovável ou seja demonstrando que o Estado do Ceará tem interesse na construção de alternativas de geração e implantação de fontes energéticas limpas e sustentáveis.

O Estado do Ceará tem 184 municípios e 20 Microrregiões Administrativas, destacando-se as Regiões Metropolitanas de Fortaleza, com 19 cidades, e do Cariri, com

9 cidades (PORTAL DA TRANSPARÊNCIA, 2017). Portanto, garantir uma rede de EC presentes nas rodovias que ligam estes pólos pode impactar positivamente no desenvolvimento e crescimento do Estado. Sendo assim, é necessário assegurar uma rede de estações de carregamento nas vias do estado para que os usuários de VE's tenham autonomia para realizar grandes deslocamentos, sem precisar preocupar-se acerca da falta de locais para reabastecimento de seu veículo. Desta maneira assentir estudos que viabilizem a instalação de novas EC, fora do eixo de concentração, faz-se necessário.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Utilizar o método TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) para determinar alternativas de localização de pontos de estações de carregamento ao longo de rotas saindo de Fortaleza a Juazeiro do Norte em trechos de rodovias do estado do Ceará.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir critérios e seus pesos para utilização do método TOPSIS.
- Realizar um questionário junto a especialistas, com vistas a obter os fatores de escala para os critérios previamente definidos.
- Propor alternativas de soluções de implantações de carregadores no trecho das rodovias que conectam as cidades de Fortaleza a Juazeiro do Norte com auxílio do TOPSIS
- Construção de alternativas de localização para estações de carregadores para carregamento de veículos elétricos perante o trecho das rodovias estaduais e federais que ligam as cidades de Fortaleza a Juazeiro do Norte.

1.4 Organização

Os capítulos remanescentes da Monografia são descritos a seguir. No Capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica que deu suporte à investigação. No Capítulo 3, é apresentado a construção e adequação do método a situação problema desenvolvida neste trabalho. No Capítulo 4, é demonstrado os resultados obtidos da pesquisa e por fim o Capítulo 5 expõe as análises conclusivas da investigação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo explana acerca das questões de múltiplos critérios e como os métodos de apoio à decisão assistem às resoluções destes problemas. Também aprofunda como estes métodos podem ser utilizados em questões de mobilidade elétrica.

Ao longo deste capítulo é também explicado o porquê da escolha do TOPSIS como método a ser desenvolvido para auxiliar os estudos deste trabalho e como se dá a construção dele, exemplificando seu passo a passo e como o mesmo pode ser adaptado para a resolução de problemas que requerem uma abordagem multicritério.

2.1 Métodos de Apoio à Decisão

Deparar-se com uma tomada de decisão é algo comum, seja em escolher qual a cor de roupa a ser usada no dia ou até na escolha da vaga a qual o veículo vai ser estacionado. Portanto, saber elencar qual fatores ponderam sobre aquela escolha faz-se necessário para que assim seja feita a melhor escolha.

Segundo Angeloni (2003) “No processo de tomada de decisão, é importante ter disponíveis dados, informações e conhecimentos, mas esses normalmente estão dispersos, fragmentados e armazenados na cabeça dos indivíduos e sofrem interferência de seus modelos mentais”. Pois assinalar que a necessidade de um processo de eliciação de preferências muitas vezes ocorre em situações com as quais os agentes de decisão não estão familiarizados, alguns dos elementos de decisão são desconhecidos e onde há conflitos no tocante às preferências Lichtenstein e Slovic (2006).

Porém Bana (1995) questionou “talvez baste que cada um pergunte a si próprio, qual foi a última vez em que tomou uma decisão com base num único critério”. Ou seja, corriqueiramente tomar uma decisão envolve mais de um fator que determina qual será a opção correta para aquela situação. Santos (2012, p. 47) definiu que

“Um problema de decisão multicritério consiste em uma situação onde existem pelo menos duas alternativas de ação a serem escolhidas, o processo de escolha ocorre pelo desejo de se atender múltiplos critérios que muitas vezes tem relacionamentos conflitantes”

A partir do ponto que existe um problema de decisão multicritério, pode-se aplicar um MCDA – *Multi Criteria Decision Aid* pois segundo Zeleny (1982) “a tomada

de decisão pode ser de forma simples definida como um esforço para resolver o dilema dos objetivos conflituosos, cuja presença impede a existência da 'solução ótima' e conduz para a procura da 'solução de melhor compromisso”.

Desta forma Schmidt (1995) enfatizou a grande importância dos métodos multicritério como instrumentos de apoio à tomada de decisão para que o objetivo do decisor seja alcançado. Já que Bana (1993) *apud* Schmidt (1995) definiram que “objetivo do decisor é a manifestação, por parte de um decisor e numa determinada situação, do seu desejo de ver o fim que ele quer que seja atingido, na sequência da implementação de uma decisão". Assim utilizando MCDA's pode-se chegar a uma tomada de decisão com cautela e objetiva, ponderando todos os critérios envolvidos e aplicando seus pesos.

2.1.1 Aplicação de MCDA's em situações de mobilidade elétrica

De acordo com Novais (2016) “Nos tempos atuais, é cada vez mais nítida a ideia de que os veículos do futuro serão elétricos. Essa informação ecoa em fóruns sobre mobilidade nos quatro cantos do planeta – do Brasil à China, da Europa aos Estados Unidos.”. Porém segundo Biresselioglu, Demirbag, Yilmaz, (2018) construir infraestrutura para carregamento, melhoria da rede de distribuição de eletricidade e questões de viabilidade são barreiras para ampliar a frota de VE's. Portanto é necessário fornecer locais destinados para recargas de veículos para que assim, haja um aumento na compra e utilização dos VEs para viagens intermunicipais.

Dentre os pontos destacados como empecilho, para a maior promoção de VE's, podemos destacar a infraestrutura e implementações de estações de carregamento (EC) que engloba vários fatores em sua implementação e que segundo Mastoi (2022) com seus altos custo, o tempo de espera alto, a baixa disponibilidade e inadequação de estações pode vir a fortalecer a baixa consumação de VE's.

Uma estação de carregamento é um local público ou privado onde o usuário de VE's pode chegar e recarregar seu veículo. Mastoi *et al.* (2022) definiram que existem 3 níveis de estações de carregamento classificados numericamente de 1 a 3. Os fatores que diferenciam os níveis envolvem voltagem, amperagem, tipo de corrente e tempo de carregamento. Na Tabela 1 é apresentado um resumo de algumas informações destes níveis.

Tabela 1 - Características dos níveis de estações de carregadores

Característica x Nível	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Tipo de corrente	Corrente AC	Corrente AC	Corrente DC
Voltagem	120V	208V ou 240V	208V ou 480V
Fase	1 fase	1 fase	3 fases
Amperagem	12 a 16 A	12 a 80 A	< 125 A
Tempo de carregamento	8 km/h	32 km/h	80 % em 30 min

Fonte: Mastoi et al 2022

Podemos notar que a implementação de uma estação baseada nos níveis citados acima já envolve vários fatores em sua decisão. Agora somado aos fatores da Tabela 1, pode ser adicionado o fator localização, sendo este de grande importância, visto que as EC são como os postos de gasolina para os VE's. As EC precisam ser implementadas em locais estratégicos para garantir as recargas dos veículos.

Os tópicos citados acima foram elencados para destaque, para enfatizar que a implementação de novas EC's trata-se de um problema de decisão multicritério, portanto pode-se ser aplicado uma MCDA's para saná-lo. Já que elas têm um elevado custo de implementação somado ao fato de Dornelles e Abaide (2020, p.5) elencaram que:

“O custo de EC inclui aspectos relacionados às condições técnicas do sistema como sobrecarga de equipamentos e alimentadores, que demandam medidas de correção, manutenção e adaptações cabíveis para implantação das EC, bem como associa-se às condições geográficas no que se refere à disponibilidade de espaço físico e infraestrutura (nova ou existente)”

Ou seja, implementar e manter um EC necessita de um grande investimento agregado ao fato de também existirem vários fatores como localização da mesma, quantidade de carregadores presentes, tipo do carregador entre outros que influenciam a sua instalação, neste caso buscar alternativas que visem a instalação em locais estratégicos que diminuam os riscos de defeito e que minimizem a quantidade de unidades instaladas faz-se necessário.

Existem MCDA'S que podem auxiliar na busca desta solução almejada. Podemos citar o método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), o MACHBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical*

Based Evaluation Technique) e o TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*).

Porém vamos dar enfoque ao TOPSIS, já que Skaloumpakas et al. (2022), realizaram estudos acerca de disponibilidade de carregadores em uma das maiores rodovias da Grécia, e com o auxílio do TOPSIS, utilizando cinco critérios estabelecidos por eles, propuseram soluções para instalação de mais unidades visando a redução da taxa de ansiedade do motorista, trazendo maior dinamismo para a viagem. O método TOPSIS foi usado para identificar o conjunto ideal de localizações considerando critérios críticos relacionados à infraestrutura e à operação, bem como critérios pragmáticos (Skaloumpakas, *et al.* 2022). Já Rani *et al.* (2023) desenvolveram uma pesquisa para avaliar zonas de adequações de EC em Mumbai, Índia, fazendo comparação entre MCDA's, sendo um dos métodos o TOPSIS.

Após mensurar os estudos acima é notado que o TOPSIS se faz uma ótima ferramenta de auxílio nestas áreas de pesquisa, sendo um ótimo método para se determinar o número e localização de EC.

2.2 TOPSIS

O método TOPSIS foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981), Castro (2007), Heller (2007), Gomes e Gomes (2012), Costa e Junior (2013) e busca avaliar a distância em relação a um ideal e a uma inversa, denominada anti-ideal, por meio de uma taxa de similitude. O TOPSIS trabalha com a similaridade para elencar suas melhores escolhas, sendo que este tende a escolher a alternativa que contém o maior valor para singularidade, isto é a maior distância para a situação não ideal e a menor distância para situação ideal. Abaixo os passos para implementação do TOPSIS desde a construção da matriz de decisão até o cálculo da singularidade

2.1.1 Construção da matriz decisão

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

A construção da matriz 1 dá-se pelo fato dos valores X a serem criados da matriz $A \times C$ onde “A” são as alternativas e “C” os critérios.

2.2.2 Cálculo da constante de normalização

A normalização da matriz de decisão pode ser realizada de diversos modos. Para esse trabalho foi escolhido a seguinte forma: como a resultante da raiz quadrada do somatório dos valores ao quadrado das respostas de todas as alternativas perante cada critério. Pode ser expressa da seguinte fórmula como por exemplo da Equação (2):

$$CN_{ij} = \sqrt{\sum x_{ij}^2} \quad (2)$$

2.2.3 Cálculo da matriz normalizada com os respectivos pesos

O valor de cada vetor (v_{ij}), que constitui a matriz normalizada, é obtido da seguinte forma: pela divisão do valor alternativa (X_{ij}) pelo resultado da multiplicação da constante de normalização (CN_{ij}) e do peso (W_{ij}) do critério a qual o vetor está submetido como descrito na Equação (3):

$$v_{ij} = \frac{X_{ij}}{CN_{ij} * W_{ij}} \quad (3)$$

2.2.4 Determinação do PIS e do NIS

O próximo passo é a identificação da solução ideal (PIS) e da solução anti-ideal (NIS), para cada critério. A escolha se dá pelo maior ou menor valor de vetores (V_{ij}) presentes no universo de amostragem de cada critério.

Para a escolha do maior vetor é utilizado a equação 4, já para a escolha do menor vetor é utilizado a equação 5.

$$S^+ = \{(max v_{ij} | j \in J), (min v_{ij} | j \in J')\} \quad (4)$$

$$S^- = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J')\} \quad (5)$$

Em que j e J' de acordo com Areze *et al.* (2017) representam o conjunto de critérios.

2.5.5 Cálculo das distâncias D^+ e D^-

O quinto passo é o cálculo das distâncias euclidianas da alternativa (X_{ij}) em relação ao PIS e ao NIS. A mesma pode ser obtida pelo somatório das diferenças dos vetores (V_{ij}) menos S^+ para o caso de D^+ , ou para menos S^- para o caso de D^- .

Para o cálculo da solução ideal positiva (D^+) é utilizado a seguinte equação

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [V_{ij} - S^+]^2} \quad (6)$$

Para o cálculo da solução ideal negativa (D^-) é utiliza-se a equação (7)

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [V_{ij} - S^-]^2} \quad (7)$$

2.2.6 Cálculo da similaridade

Por fim, o último passo na construção do método é o cálculo das singularidades (S_j) de cada alternativa. O resultado deste cálculo é o que é levado em consideração na escolha da melhor alternativa, pois o resultado deste cálculo varia dentro do conjunto numérico entre 0 e 1. E a escolha dar-se pelo resultado que estiver, dentre as opções, mais perto de 1. Ele utiliza as distâncias euclidianas positivas e negativas para chegar no resultado conforme consta na Equação (8):

$$S_j = \frac{D_j^-}{D_j^- + D_j^+} \quad (8)$$

Deste modo, seguindo este passo a passo é possível implementar o TOPSIS em diversas situações como podemos aplicar no capítulo seguinte.

3 METODOLOGIA

O seguinte capítulo explana a construção e desenvolvimento do estudo de caso relacionado a esta Monografia, explicando a questão problema, ao passo que paralelamente explana o método selecionado para auxiliar na resolução dela. Também explica o desenvolvimento em software do método, como deu-se o processo de aplicação e adequação das equações que fundamentam o método. Por fim, demonstra a elaboração do questionário que fornece dados para alimentar a planilha criada baseada no método.

3.1 Estudo de caso

O estudo de caso que este trabalho tem como base, foi construído do seguinte questionamento “Como garantir a implantação de mais veículos elétricos no Estado do Ceará?”. A partir deste ponto foram elencadas algumas soluções, porém como consequência da primeira pergunta surgiu logo uma segunda que também foi grande responsável para chegar ao foco do estudo que é “A partir do momento em que o usuário tem a posse do veículo, como garantir uma infraestrutura para que o proprietário do VE consiga fazer todo tipo de deslocamento sem preocupar-se com a disponibilidade de locais para reabastecimento?”

Seguindo a linha de raciocínio dos questionamentos acima, criou-se um funil de ideias, voltado para o seguinte propósito: quais deslocamentos seriam levados em questão? E foi definido trajetos interestaduais partindo da capital do Estado, Fortaleza. Visto que na capital cearense encontra-se a maior concentração de VE's do Estado. Portanto, foram elencadas cinco possíveis alternativas de trajeto para serem trabalhadas, o motivo para serem destacadas perante o universo possível de escolhas, foi por se tratar de rotas com teor turístico ou de importância econômica. Os resultados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2: Distância entre as cidades

Origem	Destino	Distância (km)
Fortaleza	Aracati	243
Fortaleza	Juazeiro do Norte	480
Fortaleza	Sobral	243
Fortaleza	Jericoacoara	297
Fortaleza	Tauá	342

Fonte: Próprio Autor

Após a análise das alternativas, a escolha foi a que contém o maior deslocamento (Fortaleza x Juazeiro do Norte) visto que a média de autonomia dos VE vendidos no Brasil é ≈ 272 KM de acordo com a Tabela 3. Consequentemente podemos inferir que o trajeto escolhido para ser estudado, necessita de implementação de EC, já que ele possui 480 Km de extensão e conforme informado na Tabela 3 apenas o carro do modelo BMW iX 50 consegue percorrer essa quilometragem sem necessitar de paradas para recarga.

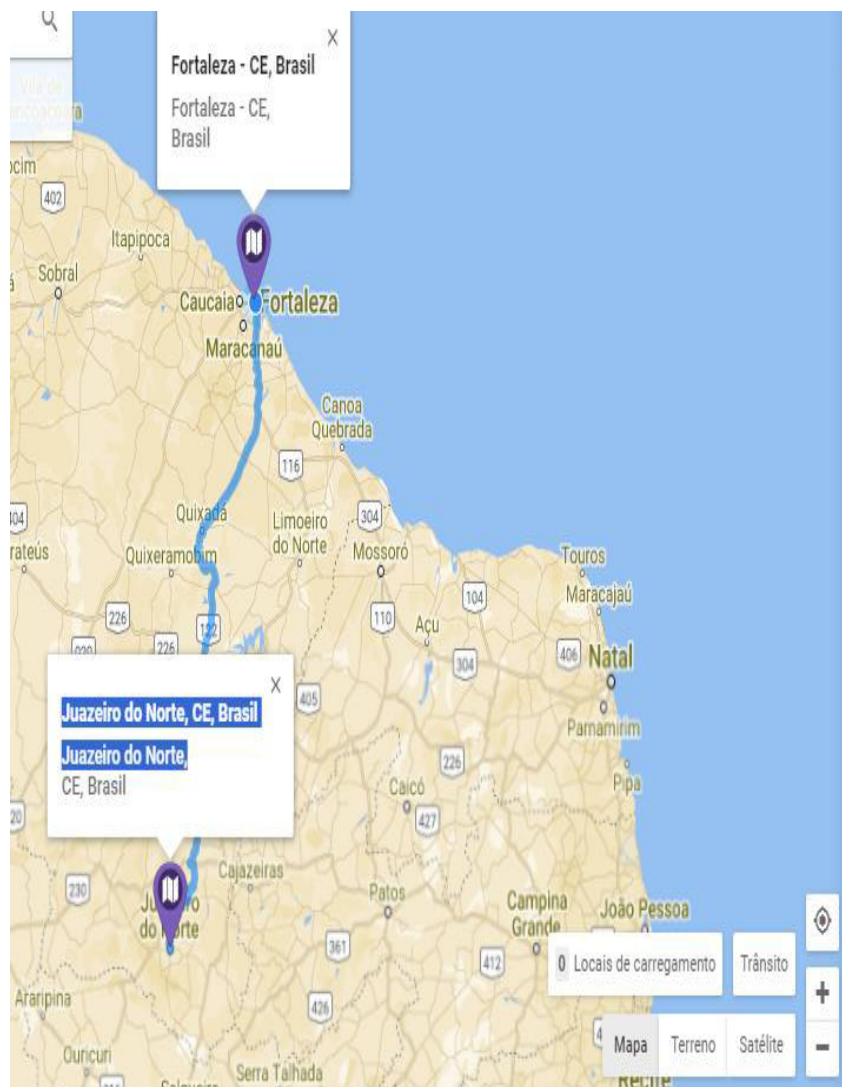
Tabela 3 - Modelo de veículos elétricos vendidos no Brasil

Marca/Modelo	Autonomia	Marca/Modelo	Autonomia
BMW iX 50	528 km	Porsche Taycan 4 Cross	272 km
BMW i4 40	422 km	Mercedes-Benz EQC	271 km
Chevrolet Bolt	390 km	BYD D1	258 km
BMW iX3	381 km	Jac E-JS4	256 km
Mercedes-Benz EQS	373 km	Renault Zoe	254 km
Mercedes-Benz EQE	369 km	Audi e-tron S Sportback	252 km
Jaguar I-Pace	362 km	Audi e-tron	249 km
BMW i4 M50	335 km	Jac E-J7	249 km
BMW iX 40	327 km	Volvo C40	247 km
Porsche Taycan GTS	318 km	Audi e-tron Sportback	246 km
Audi RS e-tron GT	313 km	Porsche Taycan 4S	241 km
BYD Tan	309 km	Peugeot E-2008	234 km
Volvo XC40 P8	305 km	Volvo XC40 P6	231 km
Mercedes-Benz EQA	304 km	Fiat 500e	227 km
Porsche Taycan 4S Cros	300 km	Jac iEV-330P	226 km
BYD Yuan	294 km	Peugeot E-208	220 km
Mercedes-Benz EQB	291 km	Dongfeng Seres 3	206 km
Citroën E-Jumpy	289 km	Caoa Chery iCar	197 km
Peugeot E-Expert	289 km	Nissan Leaf	192 km
Fiat E-Scudo	289 km	BYD ET3	170 km
Porsche Taycan	286 km	Jac E-JS1/E-JS1 EXT	161 km
Porsche Taycan Turbo	281 km	Mini Cooper S E	161 km
Porsche Taycan Turbo S	278 km	Renault Kangoo ZE	148 km

Fonte: Inmetro

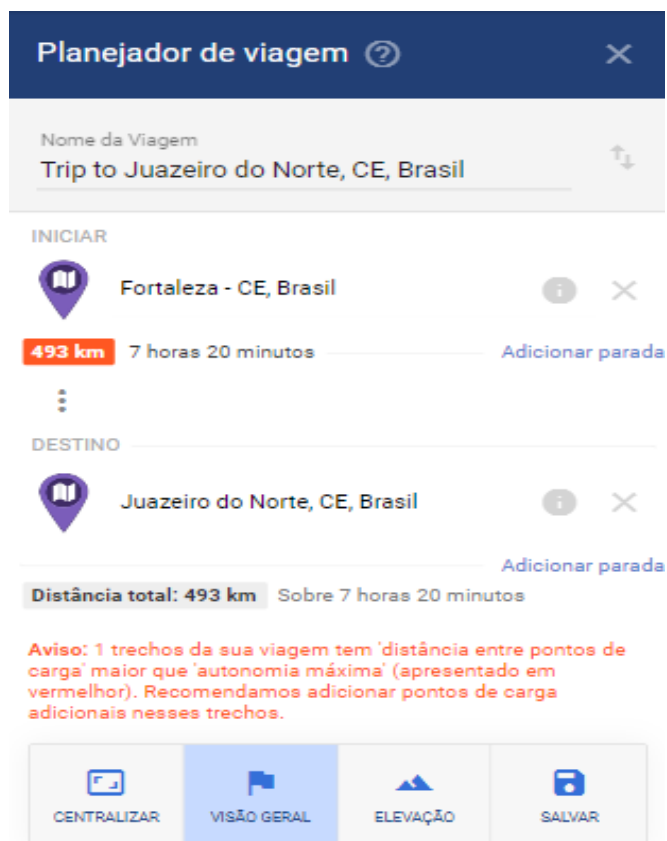
Dado o princípio da escolha, foi feita a verificação da disponibilidade de carregadores nos trechos que ligam as cidades e foi possível verificar que não há unidades de carregadores cadastradas ou disponíveis em sites de consultas como *Plugshare*. Dentre as três possíveis rotas entre as cidades de Fortaleza x Juazeiro do Norte, em nenhuma delas há presença de EC ao longo delas, como demonstrado na Figura 1, qual mostra a rota de Fortaleza a Juazeiro do Norte feita pelo site *Plugshare*. em Outubro de 2023. Para a rota que passa pelo município de Quixadá, o site *Plugshare* informa a seguinte mensagem: “Recomendamos adicionar pontos de carga adicionais nesse trecho” (Figura 2), neste sentido observa-se que não há nenhuma EC destacada em todo o percurso.

Figura 1: Disponibilidade de carregadores elétricos na rota Fortaleza x Juazeiro do Norte



Fonte: Site *Plugshare*

Figura 2: Informe do planejador da viagem Plugshare para a rota que passa pelo município de Quixadá.



Fonte: Site *Plugshare*

3.2 Aplicação Método TOPSIS

Consequentemente é fundamental a escolha de algum método de apoio à decisão para assistir à resolução da questão problema deste trabalho, visto que os mesmos são utilizados em vários campos de implementações como por exemplo para definir a localização das lixeiras em centros urbanos até os locais ideais para a construção de hospitais e escolas.

Dentre o leque de métodos de apoio a decisão que poderiam ser utilizados para a resolução do problema a escolha foi do método TOPSIS desenvolvido pela pesquisa de Hwang e Yoon (1981).

Segundo Sorin, Samona e Ioan (2016), este método baseia-se no conceito da alternativa escolhida deve ter a menor distância até a Solução Ideal Positiva (PIS) (a

solução que minimiza os critérios de custo e maximizar os critérios de benefício) e a maior distância até a Solução Ideal Negativa (NIS).

Por conseguinte, fazendo que a escolha do TOPSIS como método a ser utilizado. orna com a solução almejada do problema, que tem como objetivo analisar e ponderar os critérios e assim chegar em uma possível alternativa de solução. Pois como já citado, a implementação de novas EC é um grande investimento variando entre valores de R\$110 mil a R\$170 mil a unidade de EC (Brito e Reis 2018) assim é importante ter bastante cautela nas implementações de novas EC's. Ou seja, é necessário buscar alternativas que ponderem locais estratégicos e quantidades suficientes de EC para garantir o bem estar do consumidor e para que não haja implementação em locais errados, tornando o investimento inviável e sem retorno financeiro ou até mesmo não gerando impacto na logística de VE.Os fatores listados acima norteiam os critérios que serão definidos para aplicação do método.

3.2.1 Critérios

Após a escolha do método, os critérios a serem levados em consideração, foram principiados a lapidação para melhor tratamento visto que, como trata-se de um. Entre o universo de fatores que impactam a implementação de novas EC, os fatores a seguir foram as que nortearam a escolha dos critérios a serem utilizados no método, sendo estes fatores: 1) Redução de tempo, 2) Conforto, 3) Comodidade,4) Impacto Financeiro, 5) Infraestrutura, e 6) Alimentação dos passageiros.

A redução de tempo foi a primeira a ser elencada, pois como se trata de uma viagem de mais de 7 horas de duração, qualquer impacto que altere o tempo final é um fator a ser considerado. Conforto e Comodidade são duas vertentes que paralelamente se convergem em uma só, que no caso da questão refere-se a possibilidade ou não de tornar a viagem mais exaustiva e estressante para os usuários de VE. O conforto conecta com outro fator que é a Alimentação dos passageiros, visto que ponderando pelo tempo de duração e pelo metabolismo do ser humano esta viagem precisa de paradas para alimentação dos passageiros para que não haja aumento do nível de stress na viagem.

Já o fator impacto financeiro é elencado, visto que o custo de implementação de uma EC é alto necessita de outro fator para obter a total funcionalidade da EC, que no

caso é a Infraestrutura. Portanto, após a mensuração dos fatores acima foi possível determinar os critérios explanados nos próximos tópicos.

3.2.1.1 C1 Paradas para recargas

O C1 denominado de Paradas para Recargas, é o critério que se baseia na quantidade de parada que os motoristas estariam dispostos a fazer na viagem para que seja feito a recarga de sua bateria, visto que a quilometragem da viagem não possibilita um deslocamento por completo com uma única carga (475 km). A criação deste critério visa trazer conforto ao usuário de VEs, pois o planejamento de uma viagem está intrinsecamente atrelado ao tópico importante de uma viagem: o tempo gasto no percurso. Dado que ao acrescentar ou reduzir uma parada para recarga, haverá uma alteração no tempo de deslocamento, impactando no itinerário desenvolvido pelo usuário. Deste modo o C1 trata-se de um critério quantitativo visto que ele almeja elencar a quantidade de paradas, ou seja quantas EC são necessárias para trazer fluidez para viagem, visando sempre o bem-estar e nível de conforto dos motoristas e passageiros.

3.2.1.2 C2 Tempo para recarga

Tempo para Recarga trata-se do C2, critério este tecido para elencar o tempo de paradas que usuários de VE's, estariam dispostos a esperar para que seus carros recebam uma determinada carga de energia para que possam continuar o percurso com segurança e conforto. A elaboração deste critério está atrelada diretamente com o C1, já que a partir do ponto que é realizada a parada, quanto tempo será necessário para recarregar a bateria a fim de dar continuidade no roteiro pré-estabelecido? O C2 trata-se de outro critério quantitativo, já que pondera a quantidade de tempo (minutos), que os motoristas elencam como necessário para obter certo nível de carga da bateria para que ele possa prosseguir com segurança e conforto na viagem.

3.2.1.3 C3 Instalação em centros urbanos

O terceiro critério (C3) intitulado de “Instalação em Centros Urbanos” foi desenvolvido para mensurar a importância que os usuários de VE’s dão a instalação de estações de carregadores em centros urbanos. O ponto descrito acima foi ponderado para trazer mais comodidade e conforto para os usuários, pois sabe-se que a instalação em centros urbanos traz consigo certos atributos como por exemplo, ter melhor disponibilidade ao acesso à Internet, viabilidade esta que assiste tanto usuários, para utilizar aplicativos de geolocalização para traçar rotas para a EC mais perto, tanto quanto para as próprias estações a ficarem conectados à rede.

Também é válido ressaltar que a implementação de EC’s em centros urbanos facilita o acesso a determinados estabelecimentos que podem sanar alguns percalços que podem vir a surgir durante a viagem tais como borracharias, farmácias, supermercados entre outras opções. Por ter como base questões como as citadas acima, o C3 classifica como um critério qualitativo, que tem como base elencar a importância para usuários de VE’s, que uma EC seja instalada em centros urbanos.

3.2.1.4 C4 Infraestrutura do local

Estabelecer o nível de relevância que condutores de VE têm diante do tema infraestrutura do local na hora da escolha do espaço de construção de EC’s é o que baseia-se a criação do C4 “Infraestrutura do Local”. Este é outro critério do ponto de vista qualitativo, já que estabelece o nível de importância dos pontos abaixo, enquadra-se neste tipo de critério. Os pontos elencados que baseiam a criação do C4, acessibilidade fácil e estável com a rede elétrica; infraestrutura física do ambiente; quantidade de carregadores por estação e modelo de carregamento da estação (AC/DC).

3.2.2.5 C5 Proximidade com restaurantes e postos de gasolina

O último critério C5 “Proximidade com posto de gasolinas e restaurantes” trata-se da mensuração da importância da instalação de EC próximas a postos de abastecimento de combustível e restaurantes. É válido destacar que os estabelecimentos comerciais descritos acima já são implementados estrategicamente, além do fato dos viajantes poderem usufruir dos serviços ou até mesmo da infraestrutura dos locais, assim agregando melhor conforto e qualidade na viagem. Portanto, o último critério também se

enquadra como qualitativo, uma vez que este indica a qualidade da viagem do ponto de vista do usuário do VE.

3.2.2 Estruturação do TOPSIS no Excel

Após elencar as possibilidades de plataformas, softwares, programas ou linguagens que são compatíveis com a execução do TOPSIS, a escolha foi do uso do programa *MICROSOFT EXCEL*. Por se tratar de uma ferramenta do uso cotidiano no mercado de trabalho e devido a sua grande biblioteca de funções que ajudam na elaboração e no dinamismo da execução do método.

Por consequência desta escolha, foi elaborada uma planilha, com a uso de fórmulas e funções que ajudam na execução do método, o passo a passo da sua construção será explanado ao longo desta seção do capítulo. Nas Figuras 3 e 4 exemplificam como a planilha e sua base de cálculo ficaram em sua versão final.

Figura 3 :Visual da planilha utilizada

		Peso	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%
		TIPO	MIN	MIN	MAX	MÁX	MÁX
	Ranking	Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
2	1	1	40	4	2	5	
3	2	2	35	4	4	4	
5	3	2	10	3	3	2	
4	4	3	40	4	3	2	
1	5	1	20	3	3	5	

Fonte: Próprio autor

Podemos notar que na Figura 4, é exemplificado como a planilha foi construída no Excel, sua divisão de abas, tendo a aba Dash em destaque, que demonstra

o ranking da alternativa, a alternativa e seus valores, o peso dos critérios e o tipo do critério. Já na Figura 4 é destacado a aba base de cálculo que demonstra a constante de normalização e a matriz normalizada.

Figura 4: Demonstração da aba Base de Cálculo.

Norm	4,35889894	70,1783442	8,1240384	6,8556546	8,60232527			
Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	D+	D-	Singularidade
1	0,09176629	0,11399528	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0,09703045	0,165511	0,63041856
2	0,09176629	0,09974587	0,07385489	0,14586499	0,09299811	0,10072829	0,13269967	0,56848233
3	0,13764944	0,02849882	0,09847319	0,11669199	0,04649906	0,12142093	0,0763446	0,386035927
4	0,04588315	0,11399528	0,0492366	0,058346	0,04649906	0,15902399	0,12542208	0,440934473
5	0,04588315	0,05699764	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0,02849882	0,16496127	0,852688892
PIS	0,04588315	0,02849882	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0	0,16248088	1
NIS	0,13764944	0,02849882	0,0492366	0,058346	0,04649906	0,14674867	0	0

Fonte: Próprio autor

3.2.2.1 Constantes de Normalização

Localizadas no intervalo de células na Figura 6, as constantes de normalização (CN) são as responsáveis pelo diferencial do método perante os outros métodos. A CN é a resultante da raiz quadrada do somatório dos valores ao quadrado das respostas de todas as alternativas perante cada critério. Adaptando para o Excel a Equação

(2) foi utilizado duas funções disponíveis na biblioteca do *Software* sendo elas RAIZ e SOMAQUAD. A aplicação das mesmas pode ser observada na Figura 5.

Figura 5: Conteúdo da célula C3

Norm	4,35889894	70,1783442	8,1240384	6,8556546	8,60232527
Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
1	0,09176629	0,11399528	0,12309149	0,14586499	0,11624764
2	0,09176629	0,09974587	0,07385489	0,14586499	0,09299811
3	0,13764944	0,02849882	0,09847319	0,11669199	0,04649906
4	0,04588315	0,11399528	0,0492366	0,058346	0,04649906
5	0,04588315	0,05699764	0,12309149	0,14586499	0,11624764
PIS	0,04588315	0,02849882	0,12309149	0,14586499	0,11624764
NIS	0,13764944	0,02849882	0,0492366	0,058346	0,04649906

Fonte: Próprio autor

3.2.2.2 Pesos

Os pesos a serem utilizados durante a implementação do TOPSIS no Excel, foram determinados pela equidade dos critérios, portanto todos os critérios teriam o mesmo peso. Desta forma, como há 5 critérios eles obtêm os o valor de 20%. Foi determinado esta conclusão, pois para obter-se pesos específicos para todos os critérios é necessário aplicar um estudo específico sobre o tema, implementando métodos como AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para determinação dos valores.

3.2.2.3 Tipo de critério

Os tipos para cada critério estão localizados nas células D3, F3, E3, G3 e H3 na planilha de acordo com a Figura 4. Neste caso, usamos a ortografia TIPO para classificarmos os critérios em Mínimo ou Máximo

Critérios classificados como MÁXIMO, são critérios avaliados qualitativamente, como é o caso do C3, C4 E C5. Neste tipo de avaliação é elencado a categorização da importância dos mesmo perante a resolução do estudo de caso elencado

neste trabalho. Sendo assim, para critérios do tipo máximo almeja-se notas/valores altos, pois paralelamente quanto maior a nota maior a importância que ele tem.

Crítérios classificados como MÍNIMO, são critérios avaliados quantitativamente, sendo assim o caso do C1 e C2. Para esse modelo de avaliação voltado para resolução do problema é esperado valores baixos, pois quanto menor os valores deles, melhores são os impactos no bem-estar da viagem, visto que se há redução de tempo, como diminuir o número de paradas ou realizar tempos de recargas curtos agregam qualidade e bem-estar a viagem.

3.2.2.4 Matriz normalizada

Após a inserção dos dados coletados há a criação da matriz normalizada (Figura 5). Cada valor presente no intervalo de células C4:G8 é denominado de vetor (V). O valor de cada vetor é obtido, dividindo o valor da alternativa (A) para aquele critério, pelo resultado da multiplicação da constante de normalização (CN) e do peso (P) de seus respectivos critérios como descrito na Equação 3. Transportando a Equação (3) para o Excel, o resultado é ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Conteúdo da célula C4

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		Norm	4,35889894	70,1783442	8,1240384	6,8556546	8,60232527
3		Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
4	1		0,76471911	0,11399528	0,12309149	0,14586499	0,11624764
5	2		0,09176629	0,09974587	0,07385489	0,14586499	0,09299811
6	3		0,13764944	0,02849882	0,09847319	0,11669199	0,04649906
7	4		0,04588315	0,11399528	0,0492366	0,058346	0,04649906
8	5		0,04588315	0,05699764	0,12309149	0,14586499	0,11624764
9	PIS		0,04588315	0,02849882	0,12309149	0,14586499	0,11624764
10	NIS		0,76471911	0,02849882	0,0492366	0,058346	0,04649906
11							

Fonte: Próprio Autor

3.2.2.5 Cenários IDEAL (PIS) e PIOR (NIS)

Para dar continuidade no processo do método, foi necessário elencar os cenários IDEAL (PIS) e PIOR (NIS) de cada critério. A escolha do cenário é norteadada a partir da escolha do maior ou menor valor de vetores presentes pelo no universo de amostragem de cada critério, de acordo com o TIPO do critério assim como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4: Categorização do vetor mediante ao cenário inserido.

TIPO do Critério /CENÁRIO	PIS	NIS
MAX	MAIOR	MENOR
MIN	MENOR	MAIOR

Fonte: Próprio autor

Para o CENÁRIO IDEAL (PIS) de critérios do tipo MAX, a escolha é a do maior vetor presente naquele domínio do critério, a justificativa dar-se pelo fato que como trata-se de critérios qualitativos a escolha do maior valor elenca na escolha da melhor nota atribuída aquele critério.

Para o CENÁRIO IDEAL (PIS) de critérios tipo MIN, a opção dar-se pela seleção do menor vetor presente nas opções disponíveis do critério, pois como trata-se de critérios quantitativos ao passo que há a escolha do menor valor, paralelamente agrega a viagem menor tempo de percurso, portanto trazendo maior fluidez na viagem e trazendo mais confortos aos usuários.

Para o CENÁRIO PIOR (NIS) de critérios do tipo MAX, a escolha é a do menor vetor presente naquele domínio do critério, a justificativa dar-se pelo fato que como trata-se de critérios qualitativos a escolha do menor valor elenca na escolha da pior nota atribuída aquele critério.

Para o CENÁRIO PIOR (NIS) de critérios tipo MIN, a opção dar-se pela seleção do maior vetor presente nas opções disponíveis do critério, pois como trata-se de critérios quantitativos ao passo que a escolha do maior valor, paralelamente agrega a viagem maior tempo de percurso, portanto trazendo menor fluidez na viagem e trazendo desconfortos aos usuários. Para inserir no Excel, estes cenários, foram utilizadas as funções MÁX e MÍN como descritos nas Figuras 7 e 8:

Figura 7: Cenário Ideal (PIS) para critério do tipo MAX

Norm	4,35889894	70,1783442	8,1240384	6,8556546	8,60232527
Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
1	0,76471911	0,11399528	0,12309149	0,14586499	0,11624764
2	0,09176629	0,09974587	0,07385489	0,14586499	0,09299811
3	0,13764944	0,02849882	0,09847319	0,11669199	0,04649906
4	0,04588315	0,11399528	0,0492366	0,058346	0,04649906
5	0,04588315	0,05699764	0,12309149	0,14586499	0,11624764
PIS	0,04588315	0,02849882	0,12309149	0,14586499	0,11624764
NIS	0,76471911	0,02849882	0,0492366	0,058346	0,04649906

Fonte: Próprio Autor

Podemos notar que na Figura 8 é demonstrado a aplicabilidade da função MÁX no PIS de um critério do tipo MÁX. Entretanto, na Figura 8 temos a demonstração da aplicação da função MÍN no PIS de um critério do tipo MÍN.

Figura 8: Cenário Ideal (PIS) para critério do tipo MIN

Norm	4,35889894	70,1783442	8,1240384	6,8556546	8,60232527
Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
1	0,76471911	0,11399528	0,12309149	0,14586499	0,11624764
2	0,09176629	0,09974587	0,07385489	0,14586499	0,09299811
3	0,13764944	0,02849882	0,09847319	0,11669199	0,04649906
4	0,04588315	0,11399528	0,0492366	0,058346	0,04649906
5	0,04588315	0,05699764	0,12309149	0,14586499	0,11624764
PIS	0,04588315	0,02849882	0,12309149	0,14586499	0,11624764
NIS	0,76471911	0,02849882	0,0492366	0,058346	0,04649906

Fonte: Próprio Autor

3.2.2.6 D^+ e D^-

Continuando com a aplicação do TOPSIS no Excel, o próximo passo é a implementação da Distância para o Melhor (D^+) e a Distância para o Pior (D^-), que pode ser visualizado no intervalo de células H4:I8, ilustrado na Figura 5.

O cálculo das distâncias dar-se necessário pois ele é responsável por calcular o quão próximo A alternativa está localizada perante a distância entre o melhor e o pior cenários possíveis no procedimento do método, que nesse caso são 1 e 0, respectivamente.

Os cálculos para D^+ e D^- foram inseridos no Excel aplicando as Equações 6 e 7, e utilizando as fórmulas descritas na Figura 9 para D^+ e na Figura 10 para D^- .

Figura 9: Conteúdo da Célula H5

Norm	4,35889894	70,1783442	8,1240384	6,8556546	8,60232527			
Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	D+	D-	Singularidade
1	0,76471911	0,11399528	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0,72390247	0,15902399	0,180110119
2	0,09176629	0,09974587	0,07385489	0,14586499	0,09299811	0,10072829	0,68437522	0,871700625
3	0,13764944	0,02849882	0,09847319	0,11669199	0,04649906	0,12142093	0,63169999	0,838776315
4	0,04588315	0,11399528	0,0492366	0,058346	0,04649906	0,15902399	0,72390247	0,819889881
5	0,04588315	0,05699764	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0,02849882	0,7317898	0,962515788
PIS	0,04588315	0,02849882	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0	0,73123466	1
NIS	0,76471911	0,02849882	0,0492366	0,058346	0,04649906	0,72790059	0	0

Fonte: Próprio Autor

Figura 10: Conteúdo da Célula I5

Norm	4,35889894	70,1783442	8,1240384	6,8556546	8,60232527			
Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	D+	D-	Singularidade
1	0,76471911	0,11399528	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0,72390247	0,15902399	0,180110119
2	0,09176629	0,09974587	0,07385489	0,14586499	0,09299811	0,10072829	0,68437522	0,871700625
3	0,13764944	0,02849882	0,09847319	0,11669199	0,04649906	0,12142093	0,63169999	0,838776315
4	0,04588315	0,11399528	0,0492366	0,058346	0,04649906	0,15902399	0,72390247	0,819889881
5	0,04588315	0,05699764	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0,02849882	0,7317898	0,962515788
PIS	0,04588315	0,02849882	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0	0,73123466	1
NIS	0,76471911	0,02849882	0,0492366	0,058346	0,04649906	0,72790059	0	0

Fonte: Próprio Autor

3.2.2.7 Singularidade

Por fim, o último passo na construção do método foi o cálculo das singularidades (S) de cada alternativa, o resultado deste cálculo é a o que é levado em

consideração na escolha da melhor alternativa. A Equação (8) foi implementada no Excel da seguinte forma como descrito na Figura 11.

Figura 11: Conteúdo da Célula J8

Norm	4,35889894	70,1783442	8,1240384	6,8556546	8,60232527			
Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	D+	D-	Singularidade
1	0,76471911	0,11399528	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0,72390247	0,15902399	0,180110119
2	0,09176629	0,09974587	0,07385489	0,14586499	0,09299811	0,10072829	0,68437522	0,871700625
3	0,13764944	0,02849882	0,09847319	0,11669199	0,04649906	0,12142093	0,63169999	0,838776315
4	0,04588315	0,11399528	0,0492366	0,058346	0,04649906	0,15902399	0,72390247	0,819889881
5	0,04588315	0,05699764	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0,02849882	0,7317898	0,962515788
PIS	0,04588315	0,02849882	0,12309149	0,14586499	0,11624764	0	0,73123466	1
NIS	0,76471911	0,02849882	0,0492366	0,058346	0,04649906	0,72790059	0	0

Fonte: Próprio Autor

3.2.2.8 Ranking

A coluna Ranking foi adicionada a planilha com o intuito de trazer ordem as alternativas perante o seu valor de singularidade, pois o melhor resultado nesse caso é o valor que está mais perto do valor ideal que é 1. Portanto foi aplicada a função ORDEM.EQ que ordena os resultados das singularidades, da maior para a menor, assim classificando em 1º lugar o resultado que estiver mais próximo de 1. Por fim, após a ordenação, a visualização do pódio das alternativas fica mais visível, tornando a tomada de decisão mais prática e rápida. A demonstração da esquematização do ranking pode ser vista na Figura 12.

Figura 12: Conteúdo célula B7

		Peso	30,00%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%
	TIPO	MIN	MIN	MAX	MÁX	MÁX	
Ranking	Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	
5	1	1	40	4	2	5	
2	2	2	35	4	4	4	
3	3	2	10	3	3	2	
4	4	3	40	4	3	2	
1	5	1	20	3	3	5	

Fonte: Próprio Autor

3.3 Formulário

Após explicar como foi a construção do *Dashboard* que roda o método de apoio à decisão utilizado neste trabalho, o seguinte tópico do capítulo explana como foi possível a captação dos dados obtidos para alimentar a base de cálculo.

O meio que foi planejado para obter-se esses dados, foi a criação de um formulário de consulta pública voltado para os seguintes públicos:

- Profissionais da área de Transporte ou Logísticas;
- Professores de Instituições de Ensino Superior
- Alunos de Pós-graduação (Mestrandos)
- Alunos de Pós-graduação (Doutorandos)

Com o apoio deste formulário, foi possível transformar questões voltadas para os critérios, em dados a serem utilizados para rodar o procedimento descrito na Seção 3.2.

3.3.1 Estrutura

A estrutura do formulário consiste em 5 perguntas de múltipla escolha destinadas a cada um dos critérios mencionados no tópico 3, e uma pergunta aberta, voltada para o tema. A ferramenta de construção do formulário foi o Google Forms, e primeiramente os respondentes informaram seus dados pessoais, depois respondiam as perguntas voltadas aos critérios. O exemplo do cabeçalho do formulário pode ser visto na Figura 13.

Figura 13: Cabeçalho do Formulário



The image shows the header of a Google Forms survey. At the top, there is a photograph of an electric vehicle charging station with a blue charging cable plugged into a silver car. Below the photo, the title of the survey is displayed in bold: "Localização de estações de carregadores para carregamento de veículos elétricos". Underneath the title, there is a paragraph of text explaining the purpose of the survey, which is for a monograph on renewable engineering at UFCE, aiming to analyze factors for the location of charging stations between Fortaleza and Juazeiro do Norte using the TOPSIS method. At the bottom of the header, contact information for the supervisors, Vilmair Bomfim and Bruno Prata, is provided.

Localização de estações de carregadores para carregamento de veículos elétricos

O seguinte formulário foi construído para uma monografia do curso de Engenharias Renováveis da Universidade Federal do Ceará com o objetivo de realizar uma análise de multicritério dos fatores, que influenciam na seleção de implantação de estações de carregadores no trecho que liga as cidades de Fortaleza a Juazeiro do Norte. O mesmo tem como base o método TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Com isso, peço um pouco de paciência e atenção ao responder as perguntas.

Qualquer dúvida ou sugestão, basta enviar um email para: vilmarbonfim58@gmail.com (Vilmair Bomfim - Orientando) ou para baprata@ufc.br (Bruno Prata Prof. Dr. Orientador)

Fonte: Próprio Autor

3.3.1.1 Q1 Paradas para recarga

A primeira pergunta foi acerca do C1, que no caso os questionados teriam que responder a quantidades de paradas que eles estariam dispostos a fazer durante a viagem, para que agregasse certo conforto na viagem. Para ajudar a responder essa questão foi desenvolvido a Tabela 4 de assistência, que contém algumas informações acerca do universo de VE's e EC's, para ajudar na escolha das alternativas que variam de 1 a 10. A pergunta completa está descrita a seguir:

“Critério 1: Paradas:

De acordo com o seguinte deslocamento FORTALEZA X JUAZEIRO DO NORTE de 475 Km com duração em torno de 7 horas e 30 minutos, e com as seguintes informações da tabela abaixo. Quantas paradas para recargas de bateria você elencaria como necessárias para estabelecer certo conforto na viagem?”

3.3.1.2 Q2 Tempo de recarga

A segunda pergunta foi acerca do C2, neste caso os respondentes teriam que informar a quantidade em minutos do tempo de recarga que eles estariam dispostos a esperar para que haja recarga em sua bateria. A Tabela 5 também estava presente no corpo da questão para auxiliar na escolha da alternativa, as quais estavam no universo de 5 a 60 minutos, variando de 5 em 5 minutos.

“Critério 2: Tempo de Recarga

De acordo com o seguinte deslocamento FORTALEZA X JUAZEIRO DO NORTE de 475 Km com duração em torno de 7 horas e 30 minutos, e com as seguintes informações da tabela abaixo. Qual seria o tempo em MINUTOS das paradas para recargas de bateria que você elencaria como necessários para estabelecer certo conforto na viagem?”

Tabela 5: Características da frota de VE utilizado no Brasil

Fatores	Valores	Unidade
Autonomia (Média Brasileira)	272	Km
Capacidade de armazenamento da bateria	60	kWh
Potência da rede elétrica	75	kW
% da carga da bateria em 30 minutos	80	%

Fonte: Próprio Autor

3.3.1.3 Q3 Localização em centros urbanos

O próximo critério a ser trabalhado no questionário tratava-se acerca da importância de instalação de EC's perto de centros urbanos, e por ser um critério qualitativo optou-se por inserir outra tabela de apoio na pergunta, com base na escala Likert¹ (Tabela 6).

Tabela 6: Escala Likert

NOTA	TERMO
1	Não é nada importante
2	Às vezes é importante
3	Mediano
4	Importante
5	Muito importante

Fonte: Likert

Deste modo, atrelado a seguinte pergunta, os respondentes classificaram entre as notas 1 a 5 qual era o nível de importância do critério trabalhado nessa pergunta:

“Critério 3: Instalação em Centros Urbanos

Perante a Escala Likert exemplificada na imagem, classifique o critério Instalação em Centros Urbanos perante a instalações de estações de carregamento:”

¹ Likert (1932) apud Teles (2019) “Likert, desenvolveu uma escala onde os entrevistados deveriam escolher somente um dos pontos fixados previamente na linha, onde estavam dispostos em um sistema de cinco categorias, começando em “aprovo fortemente” até “desaprovo fortemente”.

3.3.1.4 Q4 Infraestrutura do local

A quarta pergunta também utilizou o mesmo princípio da anterior, que era a classificação do critério perante a Tabela 6. Só que desta vez era elencado na pergunta qual o nível de importância da infraestrutura do local era levado em conta na hora de implementar uma nova EC's. Deste modo com aplicação dessa questão é possível mensurar o nível de importância que os usuários têm acerca do C4. As respostas variaram de 1 a 5 na seguinte pergunta

“Critério 4: Infraestrutura do local

Perante a Escala Likert exemplificada na imagem. Classifique o critério Infraestrutura do local, perante a Instalações de estações de carregadores”

3.3.1.5 Q5 Proximidade com restaurantes e posto de gasolinas

A quinta e última pergunta de múltipla escolha do questionário, também utilizou da Tabela 6 para elencar o nível de importância. O foco da questão 5 era a proximidade com posto de gasolinas e restaurantes, assim trazendo mais uma vez a classificação do critério em notas de 1 a 5.

“Critério 5: Proximidade com Posto de Gasolina/Restaurantes.

Perante a Escala Likert exemplificada na imagem. Classifique o critério Proximidade com Posto de Gasolina/Restaurantes perante a Instalações de estações de carregadores”

3.3.2.6 Q6 Outros fatores

A última pergunta do questionário, não era obrigatória, ela foi colocada com o intuito de instigar os respondentes se eles teriam algum fator que segundo eles poderiam levar em consideração na hora da implementação de novas EC's.

“Na sua opinião, existem outros fatores que influenciam na construção de estações de carregadores? Se sim, quais seriam?”

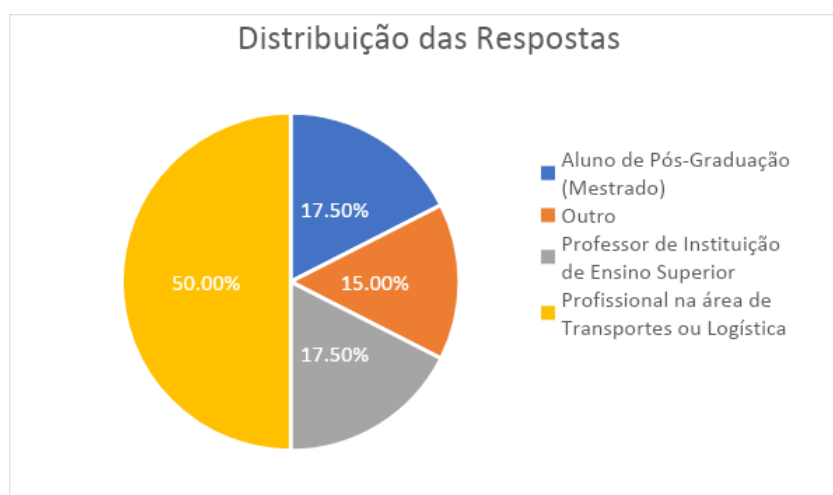
4 RESULTADOS

Este Capítulo aborda o conteúdo dos resultados após o lançamento do formulário de consulta pública e como o método comportou-se com esses dados. Discute as alternativas elencadas como melhores e piores de acordo com método e por fim explana acerca de possíveis cenários de alternativas para implementação de novas EC's.

4.1 Discussão dos resultados

Após a confecção do formulário ele foi enviado para o público-alvo e obteve 40 respostas em uma janela de 23 dias. Os meios de comunicação para alcançar o público foram e-mail, aplicativos de conversas e conversas presenciais. Na Figura 14 podemos ver a porcentagem do público-alvo que respondeu o gráfico sendo a distribuição feita da seguinte maneira: 50% de Profissionais na área de Transportes e Logística, no qual dentro deste universo estão presentes diretores, coordenadores e analistas da área que atuam no mercado; 17,5% representam Professores de Instituição de Ensino Superior que majoritariamente são professores do colegiados da UFC (Universidade Federal do Ceará); 17,5% representam a porcentagem de Alunos de Pós-Graduação (Mestrados) e cerca de 15% das respostas são oriundas da categoria Outros, na qual podemos citar profissionais que trabalham com PCPM, Inspeção de Qualidade e Auxílio Administrativo. Outro ponto que pode destacar é que não foi possível obter respostas advindas de Alunos de Pós-Graduação (Doutorado).

Figura 14: Percentual de distribuição de respostas



Fonte: Próprio autor

Primeiramente realizamos a análise do quadro geral de respostas, conforme mostrado na Tabela 7. Podemos notar que a média das respostas para cada fator são: Para **C1** é 2,72 como este critério é sobre paradas não existe meia parada, portanto podemos arredondar para cima, ou seja 3. Deste modo, 3 paradas seriam a média que os respondentes elegeram como o necessário para trazer conforto para viagem. Já para **C2** a média geral ficou de \approx 31 minutos, deste modo percebe-se que as informações que constam na Tabela 5, colocada no formulário, podem ter influenciado na resposta visto que na mesma contém a informação que o VE submetido a 30 minutos de recarga poderia efetuar uma carga de até 80% da bateria. Neste cenário é observado que os respondentes estariam dispostos a esperar 31 minutos em média, para que seus automotivos recarregarem. Para **C3**, **C4** e **C5** as médias de suas respostas são 4,45; 4,47 4,22 respectivamente, aplicando essa média na escala Likert disponibilizada na Tabela 6, também é possível descrever que os 3 critérios qualitativos para público geral foram elencados como Muito Importante e que o C4 Infraestrutura do Local, teve a maior média.

Tabela 7: Respostas coletadas do formulário

Respostas	C1	C2	C3	C4	C5	Respostas	C1	C2	C3	C4	C5
1	2	40	5	5	5	21	2	40	4	5	5
2	2	35	3	5	4	22	3	60	5	5	5
3	3	10	4	4	2	23	1	30	5	4	4
4	1	40	2	2	2	24	2	30	4	3	5
5	1	20	5	5	5	25	3	40	5	5	5
6	4	20	4	3	5	26	2	20	5	5	5
7	3	45	5	5	3	27	2	30	5	5	4
8	4	30	4	4	3	28	2	35	4	4	4
9	2	40	4	4	5	29	2	40	4	4	4
10	3	20	4	5	3	30	5	15	5	5	5
11	1	15	5	5	5	31	2	30	4	4	5
12	3	20	4	4	5	32	6	30	5	5	4
13	3	40	5	5	5	33	2	40	5	4	4
14	4	15	4	4	5	34	2	40	5	5	4
15	3	30	5	5	4	35	2	40	5	5	4
16	3	30	4	5	4	36	4	60	4	4	4
17	5	50	5	5	4	37	4	15	5	5	3
18	2	20	4	5	5	38	2	30	5	5	5
19	3	30	5	5	4	39	2	45	4	3	3
20	2	5	5	5	5	40	5	40	4	4	4

Fonte: Próprio Autor

Após serem coletados, os dados foram submetidos ao método gerando as informações presentes nas Tabelas 8 e 9. A Tabela 8 mostra o valor das constantes de normalização de cada critério submetidas a Equação 2, nesta podemos notar que a média das constantes de normalização dos critérios C3, C4 e C5 tiveram valores muito próximos.

Tabela 8: Constante de normalização dos Critérios

Critério	C1	C2	C3	C4	C5
Norm	18,78829	215	28,4605	28,68798	27,25803

Fonte: Próprio Autor

Após o cálculo das constantes de normalização, foi elaborada a Tabela 10, considerando pesos de 20% para cada critério, assim foi calculado os valores dos vetores de critério x alternativa, os quais ajudaram na elaboração da Tabela 9. Esta tabela mostra os valores do PIS e NIS de cada critério de acordo com a singularidade do TIPO do critério.

Tabela 9: PIS e NIS dos critérios

Critério	C1	C2	C3	C4	C5
PIS	0,010645	0,004651	0,035136	0,034858	0,036686
NIS	0,06387	0,055814	0,014055	0,013943	0,014675

Fonte Próprio Autor

Para o C1 o valor MIN (Tabela 10) do PIS escolhido foi o valor 0,010645, que nos relata as alternativas 4, 5, 11 e 23. Já para o NIS o valor escolhido foi 0,06387, que corresponde a alternativa 32 e que nos remete ao valor MAX presente.

Para o C2 o PIS escolhido foi o valor MIN presente no universo da Tabela 9, que foi o valor 0,004651 que nos relata a alternativa 20. Já o NIS foi escolhido o valor 0,055814 que corresponde às alternativas 22 e 36 e que nos remete ao valor MAX presente.

Para o C3 o PIS foi escolhido o valor MAX presente no universo da Tabela 9 que foi o valor 0,035136 que nos relatam as alternativas 1, 5, 7, 11, 13, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 30, 32, 33, 34, 35, 37 e 38. Já o NIS foi escolhido o valor 0,014055 que corresponde às alternativas 4 e que nos remete ao valor MIN presente.

Tabela 10: Matriz vetorizada

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
1	0,02129	0,03721	0,03514	0,03486	0,03669
2	0,02129	0,03256	0,02108	0,03486	0,02935
3	0,03193	0,0093	0,02811	0,02789	0,01467
4	0,01064	0,03721	0,01405	0,01394	0,01467
5	0,01064	0,0186	0,03514	0,03486	0,03669
6	0,04258	0,0186	0,02811	0,02091	0,03669
7	0,03193	0,04186	0,03514	0,03486	0,02201
8	0,04258	0,02791	0,02811	0,02789	0,02201
9	0,02129	0,03721	0,02811	0,02789	0,03669
10	0,03193	0,0186	0,02811	0,03486	0,02201
11	0,01064	0,01395	0,03514	0,03486	0,03669
12	0,03193	0,0186	0,02811	0,02789	0,03669
13	0,03193	0,03721	0,03514	0,03486	0,03669
14	0,04258	0,01395	0,02811	0,02789	0,03669
15	0,03193	0,02791	0,03514	0,03486	0,02935
16	0,03193	0,02791	0,02811	0,03486	0,02935
17	0,05322	0,04651	0,03514	0,03486	0,02935
18	0,02129	0,0186	0,02811	0,03486	0,03669
19	0,03193	0,02791	0,03514	0,03486	0,02935
20	0,02129	0,00465	0,03514	0,03486	0,03669
21	0,02129	0,03721	0,02811	0,03486	0,03669
22	0,03193	0,05581	0,03514	0,03486	0,03669
23	0,01064	0,02791	0,03514	0,02789	0,02935
24	0,02129	0,02791	0,02811	0,02091	0,03669
25	0,03193	0,03721	0,03514	0,03486	0,03669
26	0,02129	0,0186	0,03514	0,03486	0,03669
27	0,02129	0,02791	0,03514	0,03486	0,02935
28	0,02129	0,03256	0,02811	0,02789	0,02935
29	0,02129	0,03721	0,02811	0,02789	0,02935
30	0,05322	0,01395	0,03514	0,03486	0,03669
31	0,02129	0,02791	0,02811	0,02789	0,03669
32	0,06387	0,02791	0,03514	0,03486	0,02935
33	0,02129	0,03721	0,03514	0,02789	0,02935
34	0,02129	0,03721	0,03514	0,03486	0,02935
35	0,02129	0,03721	0,03514	0,03486	0,02935
36	0,04258	0,05581	0,02811	0,02789	0,02935
37	0,04258	0,01395	0,03514	0,03486	0,02201
38	0,02129	0,02791	0,03514	0,03486	0,03669
39	0,02129	0,04186	0,02811	0,02091	0,02201
40	0,05322	0,03721	0,02811	0,02789	0,02935

Fonte: Próprio Autor

Para o C4 o PIS foi escolhido o valor MAX presente no universo da tabela desde que foi o valor 0,0034858 que nos relata as alternativas 1, 2, 5, 7, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 30, 32, 34, 35, 37 e 38. Já o NIS foi escolhido o valor 0,013943 que corresponde a alternativa 4 e que nos remete ao valor MIN presente.

Para o C5 o PIS foi escolhido o valor MAX presente no universo da tabela desde que foi o valor 0,0036686 que nos relata as alternativas 1, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 18, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 30, 31, 38. Já o NIS foi escolhido o valor 0,014675 que corresponde às alternativas 3 e 4 e que nos remete ao valor MIN presente.

Portanto, pode-se observar que o C3 Localização em Centro Urbanos, obteve maior número de alternativas que se enquadrarem no PIS dele, foram 24 alternativas ou seja mais de 50% das alternativas, com este dado podemos inferir que este critério é o que obtém a maior homogeneidade de opinião perante os respondentes. Outro fato que podemos inferir com ajuda da Tabela 9 é a frequência que as alternativas estão presentes no PIS e no NIS. Liderando o número de aparições no PIS está a alternativa 11 que de 5 critérios a mesma aparece em quatro PIS sendo eles do C1, C3, C4 e C5. Ao contraponto da alternativa 4 que lidera o número de ocorrências em NIS tendo 60% de ocorrência, ou seja, marcando presença em no NIS de 3 critérios (C3, C4 e C5). Além do mais a alternativa 4 mesmo tendo a maior porcentagem de aparições em NIS, ainda sim possui uma presença em PIS sendo ela no C1.

Logo após o cálculo da matriz vetorizada e do PIS e do NIS que são as tabelas 9 e 10, pode-se construir a Tabela 11 que nos informa o D^+ e D^- das alternativas, valores estes responsáveis por nos informar a distância das alternativas para solução ideal (D^+) que é 1 e para solução não ideal (D^-) que no caso é 0.

Podemos notar que para D^+ a alternativa 36 apresenta o maior valor (0,061557) ou seja a mesma obtém a maior distância para a melhor solução, em contraponto a alternativa 11 que obtém a menor distância, devido a mesma obter o menor valor que é 0,009302. Paralelamente em D^- os resultados são inversos, ou seja, a alternativa 11 apresenta o maior valor 0,077146 ou seja representado a maior distância para a solução não ideal, enquanto a alternativa 36 apresenta o menor valor 0,032566, conseqüentemente tornando-se a alternativa com menor distância para solução não ideal.

Tabela 11: D^+ e D^- para as Alternativas

Alternativa	D+	D-
1	0,034254	0,059376
2	0,033815	0,055281
3	0,032518	0,059792
4	0,049259	0,056383
5	0,013953	0,074725
6	0,038188	0,05068
7	0,045312	0,046371
8	0,04329	0,040961
9	0,035656	0,055097
10	0,030211	0,055616
11	0,009302	0,077146
12	0,027312	0,057278
13	0,038901	0,052272
14	0,034704	0,055516
15	0,032372	0,053813
16	0,033126	0,051468
17	0,06016	0,036015
18	0,018905	0,065704
19	0,032372	0,053813
20	0,010645	0,076138
21	0,034968	0,057259
22	0,055416	0,048849
23	0,025363	0,066827
24	0,029966	0,057641
25	0,038901	0,052272
26	0,01755	0,067557
27	0,026608	0,060737
28	0,03231	0,054416
29	0,036403	0,052597
30	0,043584	0,056851
31	0,027425	0,058892
32	0,058545	0,043313
33	0,035718	0,054894
34	0,035031	0,057065
35	0,035031	0,057065
36	0,061557	0,032566
37	0,036355	0,056047
38	0,025576	0,062914
39	0,044238	0,048039
40	0,054999	0,032661

Fonte: Próprio Autor

4.1.1 Classificação dos resultados

Conforme a Tabela 12, que informa o ranking dos valores de singularidade, o 1º lugar ficou a alternativa 11 com singularidade igual a 0,892394 e respostas para C1 Paradas, C2 Tempo de Recarga, C3 Localização em Centro Urbanos, C4 Infraestrutura Local e C5 Proximidade com Posto de Gasolinas e Restaurante são os valores de 1, 15, 5, 5 e 5, respectivamente. Podemos inferir que a melhor alternativa, apresentou características positivas em algumas etapas do método como por exemplo a aparição em 3 PIS e apresentar a menor distância para solução ideal e a maior distância para solução não ideal. Também é possível perceber a assertividade do método analisando que o mesmo elencou como a melhor alternativa aquela que possui 4 dos melhores valores de acordo com tipo de critério. Por exemplo, no C1 o universo de escolha era entre 1 a 10, e a resposta da alternativa foi 1, portanto a mesma contém o melhor valor, já que o C1 era do tipo MÍN. Já para os critérios tipo MÁX (C3, C4 e C5), que são qualitativos e suas respostas variam no conjunto de 1 a 5, as respostas perante a estas alternativas foram 5, portanto as melhores respostas para esses critérios.

Em 2º lugar temos a alternativa 20 que contém as respostas para C1 = 2; C2 = 5; C3 = 5; C4 = 5 e C5 = 5 e o valor de $S = 0,877339$. Para o segundo lugar podemos perceber que o método elegeu a alternativa que aparece em 4 PIS (C2, C3, C4 e C5), porém não apresenta a menor valor em D^+ e também não apresenta o maior valor em D^- ou seja percebemos que a seleção do método tende a elegeu as alternativas que possuem as melhores distâncias pois, além do fato de aparecer em 4 PIS como citado acima, a mesma contém também 4 respostas consideradas melhores nos seguintes critérios C2, C3, C4 e C5.

Completando o pódio em 3º lugar temos a alternativa 5 com valores para C1 = 1; C2 = 20; C3 = 5; C4 = 5 e C5 = 5 e o valor de $S=0,842650$. Nesta alternativa podemos inferir que a mesma apresenta presença em 4 PIS (C1, C3, C4 e C5) e contém 4 respostas consideradas como melhores para a situação nos critérios C1, C3, C4 e C5. Entretanto, assim como a segunda colocada, a mesma não possui os melhores valores para as distâncias D^+ e D^- .

Podemos notar também que a Tabela 12 informa que houve um empate nos valores de singularidade entre duas alternativas, sendo elas as alternativas 34 e 35, que de

acordo com ranking de singularidade ficaram empatadas em 20º lugar com o valor de $S = 0,619622$. Isso ocorre pelo fato que ambas apresentaram as mesmas respostas para todos os critérios, mesmo não sendo o mesmo respondente, sendo as respostas para $C1 = 2$; $C2 = 40$; $C3 = 5$; $C4 = 5$ e $C5 = 4$. Consequentemente impactando no ranking geral, visto que o universo ficou entre 1º e 39º mesmo tendo 40 respostas.

Por fim, pode-se observar que as alternativas que compõem o final da tabela tiveram os menores valores. Primeiramente iremos falar sobre a alternativa 17 que ficou em 37º e que apresenta $S = 0,374473$ e valores para $C1 = 5$; $C2 = 50$; $C3 = 5$; $C4 = 5$ e $C5 = 4$. A mesma possui presença em 2 PIS em critérios qualitativos ($C3$ e $C4$), porém apresenta valores maiores que a média em relação aos critérios quantitativos $C1$ e $C2$, portanto tendendo a piores respostas.

Com valores de $S = 0,372586$ e valores para $C1 = 5$; $C2 = 40$; $C3 = 4$; $C4 = 3$ e $C5 = 3$ a alternativa 40 é a penúltima alternativa no ranking sendo assim ficando em 38º lugar. Ela foi classificada neste local pelo método, pois ela apresenta os 2 valores para os critérios quantitativos acima da média, além do fato de apresentar 1 valor abaixo da média em um critério qualitativo ($C3$). Portanto tendo 3 respostas que tendem as piores respostas possíveis.

Em último lugar (39º) temos a alternativa 36 com $S = 0,345993$ e valores para $C1 = 4$; $C2 = 60$; $C3 = 4$; $C4 = 4$ e $C5 = 4$. Para ser eleita como a pior alternativa dentro o universo de escolha, a alternativa 36 apresentou os fatos; de ter o maior para D^+ e a menor distância para D^- , a presença em 1 NIS e uma presença de uma resposta pior para o critério, no caso no $C2$, visto que a resposta da mesma foi 60, ou seja, a maior resposta possível, já que o $C2$ trata-se de um critério quantitativo relacionado aos minutos de parada para recarga.

Nota-se também que ao analisar a Tabela 12, que a diferença de valor entre a maior (0,892394) e a menor (0,345993) singularidade é de 0,54601 valor este que fica entre os valores das singularidades das seguintes alternativas 30 (30º) com $S = 0,566004$ e da alternativa 4 (31º) que é de 0,533717. Também é inferido que é a distância da maior singularidade para a solução perfeita (1) é 0,107605.

Tabela 12: Ranking das Alternativas

Ranking	Alternativa	Singularidade
1	11	0,892394745
2	20	0,877339015
3	5	0,842650316
4	26	0,793785967
5	18	0,776561404
6	23	0,724885252
7	38	0,710971842
8	27	0,695371014
9	31	0,682276327
10	12	0,677127185
11	24	0,657952312
12	10	0,648004329
13	3	0,64773344
14	1	0,634156191
15	28	0,627449372
16	15	0,624391709
17	19	0,624391709
18	21	0,620853314
19	2	0,620463829
20	34	0,61962266
20	35	0,61962266
21	14	0,615341904
22	16	0,608413169
23	9	0,607109079
24	37	0,606554076
25	33	0,605813326
26	29	0,590978669
27	13	0,573327066
28	25	0,573327066
29	6	0,570283227
30	30	0,566046498
31	4	0,533717083
32	39	0,520594265
33	7	0,505775962
34	8	0,486182684
35	22	0,468509705
36	32	0,425228463
37	17	0,374473682
38	40	0,37258652
39	36	0,345993338

Fonte: Próprio Autor

4.1.2 Aplicação dos resultados

Após realizar a discussão dos resultados e do ranking elaborados pelo *TOPSIS* foi construída a Tabela 13, que informa o top 3 das melhores alternativas e os valores das respostas para cada critério das mesmas, com auxílio da mesma foi construído uma alternativa, denominada de alternativa *X* que contém as médias das respostas elencadas como a melhores. Deste modo os valores obtidos para os critérios, da alternativa *X*, foram os seguintes: C1 = 2, C2 = 15, C3 = 5, C4= 5 e C5 =5 (Para os critérios C1 e C2 foi feito o arredondamento para cima para que encaixa-se nas opções presentes nos mesmo de resposta).

Tabela 13: Pódio das Alternativas

Ranking	Alternativa	C1	C2	C3	C4	C5
1	11	1	15	5	5	5
2	20	2	5	5	5	5
3	5	1	20	5	5	5

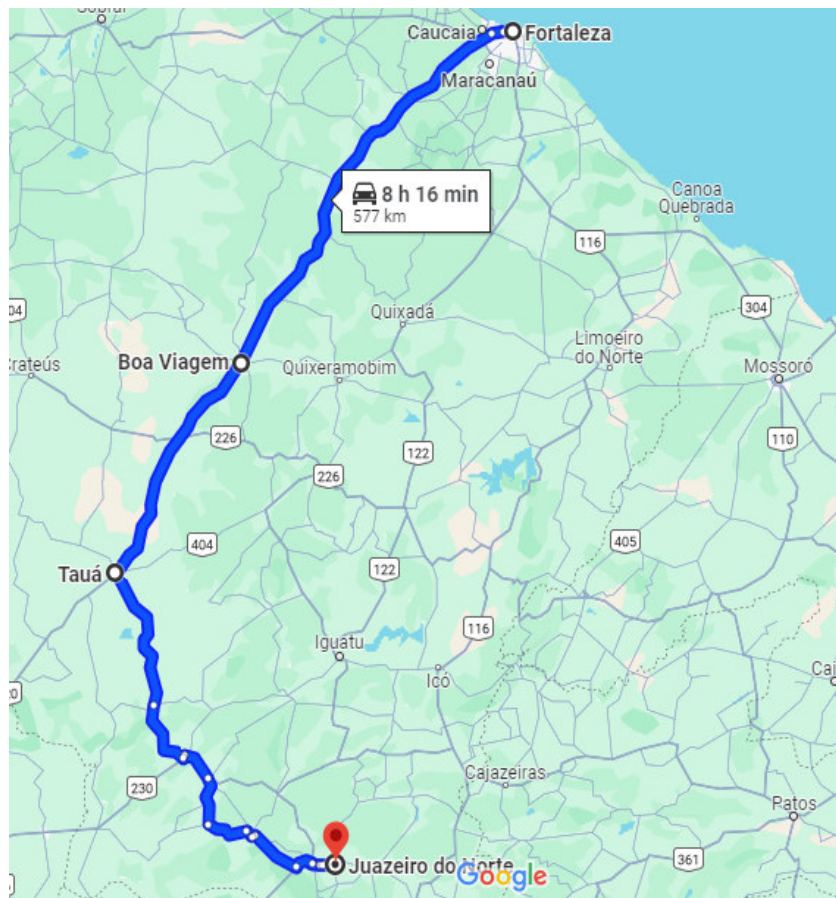
Fonte: Próprio autor

Escolheu-se trabalhar com a alternativa *X* pois a mesma traz consigo a média do pódio, portanto construir um cenário que engloba as 3 melhores respostas, faz-se justo pois acarreta confiabilidade no mesmo, portanto deste modo o cenário seria constituído pela alternativa *X* teria a instalação de 2 EC; 2 paradas de 15 minutos para realizar a carga e pôr fim a implementação em locais com boa infraestrutura, proximidade com restaurante e postos de gasolinas e proximidade com centros urbanos. Deste modo foi decidido aplicar a alternativa *X* nas 3 possíveis rotas Fortaleza x Juazeiro do Norte.

4.1.2.1 Cenário 1

Para o Cenário 1, foi escolhido trabalhar com rota que passa pela BR-020. Esta é uma das possíveis rotas Fortaleza x Juazeiro do Norte, nela a maioria é percorrida pela BR-020, e passa pelos municípios de Canindé, Boa Viagem, Tauá, Arneiroz, etc. Para aplicar a alternativa *X* nesta rota foram analisados alguns pontos sendo eles a distância entre os municípios e locais em que a BR-020 cruza com centros urbanos. Na Figura 15 é ilustrado o resultado do Cenário 1 que apresenta os pontos de instalações de EC nas cidades de Boa Viagem e Tauá.

Figura 15: Implementação dos carregadores no Cenário 1



Fonte: Google Maps

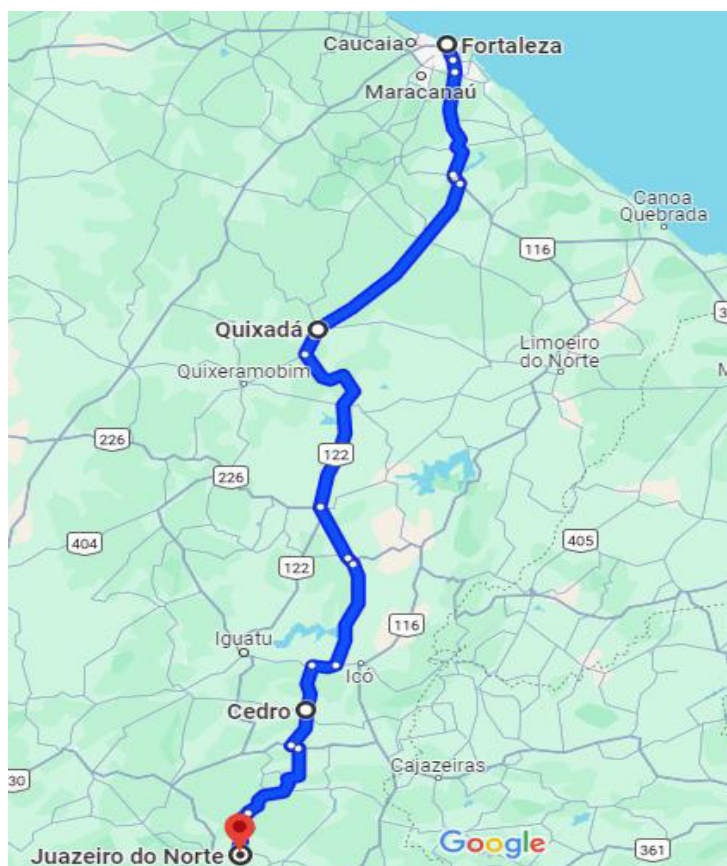
A escolha destes locais se dá pelo fato de Boa Viagem estar localizada a 220 km de Fortaleza, sendo que a autonomia média dos veículos elétricos é de 270 km (Tabela 3). Ao chegar em Boa Viagem, o motorista ainda estaria com aproximadamente 20% de autonomia. Deste modo realizando a primeira carga de 15 minutos em DC, acarretaria mais 40% de carga, visto que, de acordo com a Tabela 5, 30 minutos de carga agrega 80% de recarga. Desta forma em 15 minutos é obtida uma recarga de 40%. Com estes 40% adicionais é possível chegar em Tauá, cidade situada 123 Km de distância de Boa Viagem e última cidade da rota utilizando BR-020 como rodovia. A partir da segunda parada em Tauá é possível chegar ao destino final da viagem em Juazeiro do Norte, já que fornecido mais 40% de carga da parada de 15 minutos, é possível percorrer o último trecho da viagem que é 234 Km, distância entre a segunda EC localizada em Tauá e Juazeiro do Norte.

Foi escolhido implementar as EC nas cidades, pois implementando-as em centros urbanos é possível cumprir a nota dada para os critérios qualitativos (C3,C4 e C5) da alternativa X.

4.1.2.2 Cenário 2

Para o desenvolvimento do Cenário 2, a rota Fortaleza x Juazeiro do Norte a ser trabalhada foi a rota que passa pela via BR-122. Nesta rota as principais cidades que são cruzadas são Horizonte, Quixadá, Banabuiú e Cedro. Os mesmos parâmetros que foram utilizados para construção do cenário 1 também foram utilizados para a construção do cenário 2. Portanto o resultado para ele é demonstrado na imagem 16, deste modo os locais para implementação das EC seriam as localidades de Quixadá e Cedro.

Figura 16: Implementação dos carregadores no Cenário 2



Fonte: Google Maps

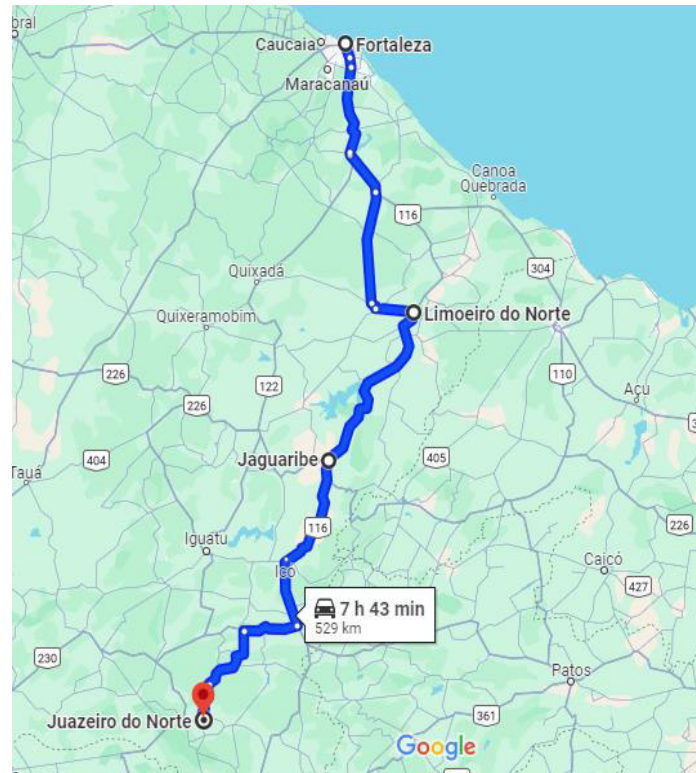
Explanando acerca do cenário 2, a primeira EC seria instalada na cidade de Quixadá, visto que a distância entre ela e Fortaleza é de 169 Km, portanto o motorista de acordo com a Tabela 5, ainda chegaria com 38% de autonomia de bateria nela. Deste

modo a recarga de 15 minutos fornecia 40% de carga (de acordo com as conclusões tomadas no Cenário 1), assim tornando possível a chegada a cidade de Cedro, localizada a 226 km de Quixadá e local da segunda instalação de EC. Com a recarga de 15 minutos (40% de carga adicional) na EC localizada em Cedro é possível concluir a viagem, visto que o último trecho da viagem que é Cedro a Juazeiro do Norte é de apenas 99 km de distância.

4.1.2.3 Cenário 3

O último cenário a ser trabalhado é o cenário 3 que demonstra a implementação de EC na rota Fortaleza x Juazeiro do Norte via BR-116. As cidades cruzadas são Morada Nova, Limoeiro do Norte, Jaguaribe e Icó. Assim como o cenário 2, o cenário 3 foi construído utilizando os mesmos parâmetros que foram utilizados para construção do cenário 1. Deste modo as cidades elencadas para instalação das EC são Limoeiro do Norte e Jaguaribe e podem ser visualizadas na Figura 17.

Figura 17: Implementação dos carregadores no Cenário 3



Fonte: Google Maps

A primeira EC a ser instalada será na cidade de Limoeiro do Norte, já que ao chegar na mesma o usuário de VE's ainda teria 30% de autonomia, visto que a distância entre a cidade de Limoeiro do Norte a Fortaleza é de 190 Km. Portanto, realizando a carga de 40 % da bateria (15 minutos em DC) o usuário consegue chegar a segunda EC localizada em Jaguaribe, localizada a 121 km de Limoeiro do Norte, local de instalação da segunda EC. Assim como nos cenários 1 e 2 com a segunda parada é possível chegar no destino que é Juazeiro do Norte, pois a distância entre Jaguaribe e Juazeiro do Norte é de 218 km.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta pesquisa, fez-se fundamental visto que, a aplicação de MCDA's em diferentes ramos de pesquisa é essencial, para que tenhamos uma tomada de decisão crítica e assertiva acerca de determinado problema. Podemos ver que o uso de MCDA's faz-se útil quando tratado da questão da implantação de novas EC, pois ela envolve muitos critérios, critérios estes que foram elencados e desenvolvidos ao longo deste trabalho.

Deste modo, ao desenvolver um estudo que auxilia na implementação de EC ao longo dos trechos de rodovias que ligam a capital do estado (Fortaleza) a Juazeiro do Norte, um dos maiores polos econômicos do Ceará, é de certa forma agregador, ao desenvolvimento socioeconômico do Estado. A partir da escolha de rota foi possível elencar quais os fatores que influenciam no uso de VE e como estes fatores impactam na qualidade e no conforto da direção no decorrer da viagem. Paralelamente esta consulta só foi possível, por meio da criação de um formulário, voltado para o público específico, sendo que este auxiliou na quantificação e qualificação dos critérios. Estes critérios foram então implementados no *TOPSIS*, o qual eleveu alternativas, sendo que as melhores foram aplicadas nas rotas Fortaleza x Juazeiro do Norte

Com os dados coletados do formulário e com a assistência do método foi possível criar a Alternativa X. Com o auxílio dela, pode-se saber quantas unidades de carregadores são necessárias para trazer um conforto para o usuário, quantos minutos de recarga são suficientes para dar um certo fluxo de continuidade para a viagem, o quanto é importante a infraestrutura do local de instalação na hora da decisão e por fim o quanto isso impacta o usuário quando a instalação é feita próximos de centros urbanos, restaurantes e posto de gasolina. Alocando estas determinações para valores de importância temos que a instalação de 2 EC's dar-se com necessário para o trecho, sendo que em cada parada o tempo de recarga indicado é de 15 minutos, a fim de trazer fluidez e conforto para viagem e por fim a nota de muito importante (5) para infraestrutura de instalação, instalação em centros urbanos e proximidade com restaurantes e posto de gasolinas tangem a aplicação de EC em centros urbanos, pois aplicando nos mesmos é possível cumprir com o nível de importância dados aos três critérios qualitativos.

Podemos observar também que os objetivos do trabalho foram alcançados já que foi aplicado o formulário para obter fatores de escala, elaborados critérios que

impactem na implementação de novas EC e por conseguinte, foi possível determinar nas três possíveis rotas que ligam as cidades de Fortaleza e Juazeiro do Norte a localização das EC.

E por fim é proposto que futuros trabalhos possam realizar um estudo de MCDA's em relação aos pesos dos critérios utilizados neste trabalho. Pode-se também haver a realização de um estudo de outro MCDA-s que confronte o TOPSIS nesta resolução de problema, além do fato de realizar outros estudos que aprimorem, e incluem as localizações exatas de posto de gasolina e restaurantes para que haja a expansão para outras rotas do Estado do Ceará.

6 REFERÊNCIAS

ANGELONI, M. T. **Elementos intervenientes na tomada de decisão.** Ciência da informação, v. 32, n. 1, p. 17–22, abr. 2003.

BIRESSELIOGLU, M. E.; DEMIRBAG KAPLAN, M.; YILMAZ, B. K. **Electric mobility in europe: a comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes.** Transportation research part a: policy and practice, v. 109, n. C, p. 1–13, 2018.

BRITO E REIS **Carregador de carro elétrico: quanto custa instalar em casa ou no trabalho?** Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/05/04/carregador-de-carro-eletrico-quanto-custa-instalar-em-casa-ou-no-trabalho.htm>

CAMELO, H. DO N. ET AL. **Potência eólica instalada no estado do ceará e impacto em sua matriz energética.** Conexões - ciência e tecnologia, v. 11, n. 3, p. 100–112, 28 nov. 2017.

DORNELLES, A.; ABAIDE, A. **Estudo da metodologia para localização estratégica de estações de carregamento para veículos elétricos.** 2020

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-3.7722204>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

HWANG, C.; YOON, K. **Multiple attribute decision making: methods and applications survey.** New york: editora springer, 1981

LICHTENSTEIN, S.; SLOVIC, P. (EDS.). **The Construction of Preference.** Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. **Uma comparação entre os métodos tophis e fuzzy-topis no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores.** Gestão & produção, v. 22, n. 1, p. 17–34, mar. 2015.

MASTOI, M. ET AL. **An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends.** 4 set. 2022.

NOVAIS, B. C. **Mobilidade elétrica: desafios e oportunidades.** Fgv engenharia, caderno de opinião. Ago. 2016

PLUGSHARE. Disponível em: <<https://www.plugshare.com>>. Acesso em: 15 out. 2023.

PORTAL DA TRANSPARÊNCIA. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/categorias/porta-da-transparencia/>>. Acesso em: 15 out. 2023.

PORTAL DE SERVIÇOS DO INMETRO. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br>>. acesso em: 18.ago.2023

RANI, N. ET AL. **An integrated gis, mif, and tophis approach for appraising electric vehicle charging station suitability zones in mumbai, india.** , out. 2023.

SANTOS, P. G. DOS. **Modelo de apoio à decisão multicritério para classificação de fornecedores em níveis de colaboração no gerenciamento da cadeia de suprimentos utilizando o método electre tri.** Jun.2012

SCHMIDT, A. M. **PROCESSO DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO ABORDAGENS: AHP E MACBETH,** 1995

SKALOUMPAKAS, P. ET AL **A multi-criteria approach for optimizing the placement of electric vehicle charging stations in highways.** , 13 dez. 2022.

SOARES, J. ET AL **Electric vehicles local flexibility strategies for congestion relief on distribution networks.**8 jan. 2022.

TELLES, M. **Análise de satisfação baseada na percepção ambiental dos funcionários do centro de distribuição de fortaleza da ambev, tendo como instrumento de pesquisa a escala likert fortaleza.** 2019

VENDITTI, M. S. **Brasil chega a 3.200 eletropostos de recarga | mobilidade estado | planeta elétrico.** Disponível em: <<https://mobilidade.estado.com.br/inovacao/brasil-chega-a-3-200-eletropostos-de-recarga/>>. Acesso em: 15 out. 2023.

ZELNY, M. **Multiple criteria decision making.** 1982

