

ESTUDO DA METODOLOGIA PARA LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Dornelles, A. G.
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil
amandaagressler@gmail.com

Abaide, A. R.
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil
alzenira@ufsm.br

Abstract—A crescente integração dos Veículos Elétricos (VE) traz uma nova perspectiva aos setores de transporte e energia, promovendo uma série de benefícios, bem como limitações técnicas e econômicas no cenário nacional. A inserção em larga escala do VE no sistema elétrico representa uma carga adicional a ser incorporada aos perfis tradicionais, trazendo a tarefa desafiadora de ter sua carga modelada e caracterizada no ambiente de planejamento de expansão dos sistemas de distribuição. Assim, propõe-se um estudo sobre a integração do VE, direcionado à definição de estratégias para localização de estações de carregamento, considerando aspectos determinantes nas decisões de carregamento e alocação destas estruturas. O estudo é desenvolvido pela técnica de Apoio Multicritério à Decisão, e demonstra uma análise comparativa entre métodos multicritério, a fim de estruturar o problema a partir do objetivo e critérios de decisão, para posteriormente explorar possíveis alternativas e propor estratégias para localização das estações de carregamento.

Keywords— *Veículos Elétricos, Estações de Carregamento, Estratégias de Localização, Apoio Multicritério à Decisão.*

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, em um panorama nacional marcado por uma grave recessão econômica e crescentes preocupações com questões ambientais que impactam diretamente a qualidade de vida das populações urbanas, muitas atenções direcionam-se para o setor de transportes rodoviários, na busca de alternativas aos poluentes veículos de combustão interna. A preocupação com a redução da emissão dos gases do efeito estufa e a restrição de recursos energéticos são alguns fatores que têm estimulado estudos e pesquisas nesse sentido.

Além disso, sob a ótica do setor elétrico, vive-se um processo de mudança de paradigmas promovido pelo advento das Redes Elétricas Inteligentes. Ao longo dos últimos anos, o sistema elétrico mundial vem incorporando esta nova concepção de rede, proveniente da integração de infraestruturas de Tecnologias da Informação e Comunicações (TICs), prevendo também a integração dos veículos elétricos e um aumento significativo das fontes de geração distribuída, além de diferentes ações de eficiência energética [1]. Esta nova abordagem propõe a superação de diversas limitações técnicas e econômicas associadas aos sistemas de distribuição de energia elétrica, ao mesmo tempo que impõe novos desafios.

Assim, atividades de pesquisa e desenvolvimento direcionadas tanto aos sistemas de transportes rodoviários como aos sistemas de energia elétrica, em busca por maior segurança e eficiência através de uma energia limpa, promovem o Veículo Elétrico (VE) como elemento integrante de um sistema elétrico inteligente, e uma interessante alternativa aos veículos convencionais de combustão interna. A tecnologia dos VE apresenta vantagens significativas sobre os convencionais, destacando-se a operação mais limpa e silenciosa, custos baixos de operação bem como a redução dos custos associados à manutenção e ainda, a dependência menos expressiva de combustíveis petrolíferos [2].

Perante o sistema elétrico, o VE representa uma carga adicional a ser incorporada aos tradicionais perfis de carga, caracterizando um grande desafio a ser considerado. Em contrapartida, uma penetração em larga escala de VEs no sistema de distribuição promove novas oportunidades para o setor elétrico [3], destacando-se entre elas a possível contribuição para o gerenciamento de cargas, ao atuar no suprimento de energia para o sistema, como uma fonte de energia descentralizada. Por meio da tecnologia V2G (*Vehicle-to-Grid*), os VEs oportunizam o trânsito da energia no sentido contrário ou, simplesmente, a otimização da taxa de carregamento, contribuindo assim para a qualidade e confiabilidade da rede [2].

O advento dos VEs como alternativa para redução de emissão de gases de efeito estufa, traz também, sob outra perspectiva, impactos relevantes junto aos sistemas de distribuição de energia elétrica, já que afetam direta e significativamente os padrões de consumo de energia. A grande dificuldade consiste em mensurar uma carga móvel, de caráter expressivo e comportamento estocástico [3]. Diante disso, tornam-se previsíveis graves problemas de congestionamento nas redes, por vezes já sobrecarregadas, que podem ser associados à modificação do tradicional perfil de consumo decorrente da ocasião de carregamento dos VEs, em prováveis períodos inconvenientes para o sistema [2].

A referência [4] explora, em seu estudo, uma revisão sobre o estado da arte das pesquisas relacionadas aos VEs, apresentando as principais tendências e desafios neste contexto. Demonstrou-se no trabalho que a integração expressiva dos VEs impacta significativamente na demanda de energia, situação não comportada adequadamente pelos

sistemas de distribuição existentes, acarretando em uma série de problemas de ordem técnica na operação das redes.

Cabe ressaltar também que, tal como aborda [5], mesmo que esta nova tecnologia já se encontre inserida no mercado, tem-se ainda uma expressão muito reduzida devida à série de desafios já mencionados, somados à dificuldades técnicas relacionadas diretamente à adesão e utilização do VE, como a autonomia ainda reduzida, a dificuldade no processo de carregamento em termos de tempo e infraestrutura disponível e ainda, o custo relativamente elevado para a aquisição do veículo.

Diante dessa integração desafiadora, evidencia-se a importância da definição de estratégias de gestão apropriadas para comportar esta nova tecnologia incorporada ao setor de transportes, bem como a nova condição de carga frente aos sistemas de energia, a fim de mitigar impactos adversos e evitar problemas técnicos cujas desvantagens possam inclusive superar os benefícios econômicos e ambientais decorrentes da utilização dos VEs [2].

Ao tratar da incorporação dos veículos elétricos nas atuais configurações, esbarra-se em um grande desafio que se refere à infraestrutura necessária para comportar estes novos elementos no sistema elétrico e oferecer condições adequadas aos usuários. Isto porque, a situação se configura a partir de duas óticas. Por um lado, têm-se as distribuidoras de energia elétrica, ou mesmo, as empresas de modo geral, que diante de um baixo índice de penetração de veículos elétricos, receiam realizar investimentos maciços na infraestrutura de carregamento pública, sob o risco de não serem remunerados.

Por outro lado, potenciais usuários de veículos elétricos podem se sentir desestimulados em adquirir VEs diante da ausência de infraestrutura de carregamento. Dessa hipótese, decorre naturalmente a tendência de padrões de recarga residencial, que trazem a necessidade de estabelecer curvas que representem a conexão de veículos elétricos à rede, já que correspondem à demanda de energia junto às distribuidoras.

Um posto ou estação de carregamento (EC), é um elemento da infraestrutura responsável por disponibilizar energia elétrica para o propósito de recarga das baterias dos VEs [4]. A escolha apropriada do local e o dimensionamento de EC são definições importantes para que, entre outras aplicações, se possa mensurar e reduzir possíveis impactos adversos provenientes da integração de VEs aos sistemas.

Entende-se, neste sentido, que as configurações de uma EC não devem levar em consideração apenas benefícios econômicos, já que envolvem outros aspectos relevantes em termos de conveniência para os usuários e, os planejadores e investidores. Assim, um propósito coeso consiste em determinar a localização e dimensionamento adequados para as ECs com base em técnicas de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), onde são ponderados diferentes critérios definidos a partir do interesse do estudo e das variáveis de análise, podendo ser complementados por técnicas de otimização onde se minimize o custo total das instalações e ao mesmo tempo, mantenha a segurança na operação do sistema elétrico.

A partir dessas considerações, este trabalho propõe, de modo geral, um estudo acerca da integração dos Veículos

Elétricos aos sistemas elétricos. O enfoque é direcionado à ocasião do carregamento dos VEs, que está condicionada à utilização da energia elétrica, e por consequência, à disponibilidade de infraestruturas apropriadas. A problemática deste estudo trata da disponibilidade e localização de estações de carregamento para Veículos Elétricos, incorporados ao sistema elétrico em nível de média tensão.

São considerados, neste estudo, aspectos influentes como o comportamento dos usuários associado aos padrões de mobilidade urbana, a concentração espaço-temporal de veículos, a capacidade dos sistemas em comportar esta integração, estimativa de custos associados à implantação de eletropostos, disponibilidade de espaço físico para alocação, entre outros, que compõem um conjunto de critérios para uma análise sustentada pela técnica de Apoio Multicritério à Decisão.

Os critérios são definidos e explorados, possibilitando, juntamente com o objetivo, estruturar o modelo de análise deste estudo. A partir disso, desenvolve-se uma avaliação comparativa entre cinco métodos pré-selecionados (AHP, ANP, ELECTRE, PROMETHEE e MACBETH), baseados na técnica AMD, de modo a identificar o mais apropriado e coerente com o propósito do trabalho. Os resultados da análise e principais conclusões são demonstrados e discutidos, em termos das contribuições adquiridas para o estudo completo.

II. METODOLOGIA

A construção da metodologia deste trabalho teve como referência alguns estudos relacionados a aspectos envolvidos no processo de integração dos VEs, entendendo que diferentes perspectivas trazidas de estudos que exploram temas e abordagens semelhantes podem ampliar o horizonte de análises ao mesmo tempo que direcionar o enfoque à ponderações mais coerentes.

Na literatura, muitos trabalhos vêm explorando a problemática da inserção de Veículos Elétricos nos sistemas elétricos. A Referência [3] traz a abordagem de Demanda Ativa e incorpora o fator incerteza de carga por diferentes padrões de comportamento de carga na presença de programas de Resposta à Demanda (RD) e inserção de Geração Distribuída (GD) e Veículos Elétricos (VE). Os resultados demonstram que a integração dos VEs, assim como da GD e dos programas de RD, está condicionada exclusivamente ao interesse do consumidor, destacando a importância de direcionar políticas de incentivo à integração de demanda ativa de forma a promover benefícios aos envolvidos [3].

Estudos como [6] trazem a avaliação dos impactos do carregamento de VE considerando a incorporação de programas de RD, a fim de evitar a formação de novos picos na rede, demonstrando mais uma vez a importância de analisar o comportamento da carga sob a perspectiva do usuário. As Referências [7] e [8] propõem a caracterização do comportamento do usuário de VE com base em variáveis relacionadas ao perfil de utilização do veículo, como tempo e tipo de deslocamento, horários de partida e chegada, a fim de obter curvas de carga de VEs. Especificamente, o trabalho [8] utiliza uma abordagem diferente que resulta em um estudo das curvas de carga no tempo e no espaço, demonstrando a

importância da análise espaço-temporal, ao passo que, a estratificação de horários e tipos de utilização fornece diferentes curvas de carga.

Assim, inicialmente a metodologia deste trabalho parte de um estudo à padrões de mobilidade urbana de uma região, que identifica os comportamentos típicos dos indivíduos inseridos em um cenário do cotidiano, onde são exercidas atividades de rotina como deslocamentos até o local de trabalho, escola, para fins de passeio, compras, bem como os trajetos de retorno às suas residências. O termo mobilidade urbana refere-se aos deslocamentos diários de pessoas em um espaço urbano, abrangendo não somente sua efetiva ocorrência como também a facilidade e a possibilidade de ocorrência [9].

Cabe considerar neste estudo informações referentes à concentração de veículos automotores e a densidade de tráfego da região em análise. A modelagem de carga dos VEs parte das informações de mobilidade de uma população, assumindo-se que os padrões de mobilidade dos usuários de VEs sejam os mesmos observados junto aos usuários de veículos convencionais. A aquisição destes dados foi realizada por uma pesquisa local do Instituto Nacional de Estatística – Direção Regional do Norte de Portugal, referente ao comportamento dos condutores e características das viagens de uma determinada região.

Assim, neste trabalho, são consideradas variáveis como número de viagens realizadas diariamente, tempos de chegada e partida de um determinado local e motivo do deslocamento, filtrados pelo padrão de transporte por veículos automotores.

Do tratamento destes dados, é possível obter a distribuição probabilística da utilização diária dos VEs como uma variável dependente do tempo. A distribuição das chegadas é uma informação bastante útil neste estudo, se observada a possibilidade de cada chegada representar o início de um carregamento. Neste caso, a determinação das chegadas a qualquer lugar ao longo do dia é realizada a partir do Método de Monte Carlo (MMC) que, de modo geral, consiste em um método numérico universal de resolução de problemas por meio de uma amostragem aleatória, pela qual aproxima-se da solução [10].

A metodologia compreende ainda outras etapas importantes à definição dos critérios. Entende-se a importância de ponderar um custo médio operacional das EC associado à operação e manutenção das estruturas, visto que essa perspectiva de análise permite avaliar a relação entre tais custos e um fator de utilização da EC, determinado por fatores como o fluxo de veículos em recarga e capacidade de carregamento da EC. Dessa forma, verifica-se a compensação de concentrar ou distribuir, uma quantidade maior ou menor de EC, em dimensões ampliadas ou reduzidas.

Um fator a ser considerado refere-se às condições técnicas do sistema elétrico, que por sua vez, refletem a capacidade das redes em suportar uma nova condição de carga. Esta avaliação é proposta por estudos de caso, nos quais são configurados e simulados diferentes cenários de análise, baseados no sistema IEEE 33 barras, com o software Open Distribution System Simulator – OpenDSS.

Por fim, outro aspecto relevante trata-se da disponibilidade de espaço físico que se detém às condições geográficas, podendo ser de propriedade pública ou privada, oferecendo uma infraestrutura já existente, ou então possibilitando a construção de novas instalações. Esta análise permite identificar qual localização corresponde a uma boa alternativa para alocar uma EC, considerando possíveis restrições de ordem física ou econômica.

A partir das ponderações anteriores, a metodologia direciona-se ao propósito principal deste trabalho, estruturado e desenvolvido pela técnica de Apoio Multicritério à Decisão (AMD). As metodologias de AMD auxiliam analistas e decisores em situações nas quais há a necessidade de identificar as prioridades sob a ótica de múltiplos critérios, o que ocorre normalmente quando coexistem interesses em conflito. Em um problema multicritério é necessário, primeiramente, proceder à definição do objetivo da análise, seguido dos critérios e alternativas, e então, o método a ser utilizado e quem atuará como decisor, emitindo os juízos de valor sobre os elementos do estudo.

O objetivo da análise consiste na definição de estratégias de localização de estações de carregamento de VEs, ponderando fatores influentes que serão tomados como critérios de decisão. Pode-se dizer que a problemática abordada está associada de forma geral à duas decisões: a decisão de carregamento, que ocorre por parte dos condutores de VEs conforme a conveniência; E a decisão de alocação, por parte dos agentes planejadores e investidores, guiada pelos interesses e benefícios econômicos.

A composição do conjunto de critérios foi realizada a partir do entendimento dos parâmetros e aspectos envolvidos nos processos de decisão caracterizados acima. Além disso, esta escolha agregou contribuições de diferentes trabalhos encontrados na literatura recente que apresentam metodologias de localização de EC como propósito comum [8] [11] [12] [13]. Contudo, distinguem-se pelas abordagens e perspectivas utilizadas, com modelos de análise construídos e delimitados de forma específica.

Elaborado com base no trabalho de [12], o conjunto de critérios incorporado a este modelo de análise é composto por:

- a. *Custo da EC* - refere-se a um custo médio anual, que compreende parcelas percentuais de custos associados a investimento, instalação, operação e manutenção das estações.
- b. *Concentração de veículos* - indicador associado à densidade de tráfego da região, que retrata um fluxo estimado de veículos que passam pela EC.
- c. *Padrão de mobilidade urbana* - refere-se ao comportamento do usuário de VE, em termos de horário, duração e motivos de deslocamento (neste caso, considerado equivalente ao dos condutores de veículos automotores convencionais).
- d. *Capacidade da EC* - refere-se à capacidade de carregamento em termos de potência, tempo da recarga, número de carregadores, e atendimento de um percentual de recargas simultâneas de veículos.

e. *Condições técnicas do sistema elétrico* - trata da capacidade da rede elétricas, considerando os níveis de carregamento dos alimentadores e condições de operação dos equipamentos;

f. *Condições geográficas* - referem-se aos espaços físicos disponíveis para instalação das estruturas, podendo ser eles novos ou existentes, públicos ou privados.

Ainda que seja ponderado um custo (Custo de EC) como critério de decisão, as análises deste estudo não se dão sob enfoque econômico, e tampouco regulatório. A análise de viabilidade econômica da integração dos veículos elétricos e da implantação de estruturas de recarga compreende inúmeros dados financeiros e exige estudos especializados, os quais não estão sob o foco deste trabalho. Os aspectos regulatórios também são desconsiderados neste primeiro momento, devido ao caráter recente da regulamentação referente à recarga de VE em âmbito nacional.

A técnica AMD compreende diversos métodos que se distinguem em características, vantagens e desvantagens, de acordo com sua aplicação. Entre eles estão os pré-selecionados para este estudo: *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, *Analytic Network Process (ANP)*, *Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE)*, *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)* e *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TechNique (MACBETH)*.

O método AHP é amplamente reconhecido e difundido no meio acadêmico e empresarial, sendo a técnica mais utilizada atualmente. Como principal vantagem, destaca-se a possibilidade de decompor hierarquicamente o problema, facilitando sua compreensão e estruturação. Utiliza comparação paritária em uma avaliação relativa e, emprega uma escala cardinal para avaliação absoluta das alternativas em relação a cada critério, permitindo demonstrar de forma mais clara as preferências dos decisores, principalmente em casos onde predominam restrições qualitativas e existem interesses e visões divergentes entre eles [14].

Também desenvolvido por Thomas Saaty, o ANP é considerado uma generalização do método AHP. Contudo, diferentemente deste último que decompõe o problema de forma hierárquica, o ANP utiliza uma estrutura de rede, dispensando a determinação de níveis, além de permitir relações de dependência entre seus clusters e elementos. Neste caso, rede é uma estrutura não-linear que se expande em todas as direções, apresentando clusters não organizados em uma ordem pré-definida com relações de influência (ou dependência) que são transmitidas dentro de um mesmo conjunto de elementos e também entre conjuntos [15].

O método ELECTRE, além da atribuição de pesos como o AHP, utiliza a modelagem de preferências baseada nas relações de dominância entre pares de ações. Ou seja, são definidos previamente os conjuntos de alternativas e critérios, estes já com pesos relativos atribuídos pelo decisor, e então são estabelecidas as relações de dominância [14]. Posteriormente, calculam-se os índices de concordância e discordância que refletem as vantagens e desvantagens das alternativas. Uma das críticas a este método é a arbitrariedade com que definem-se os

limites de preferência e indiferença, necessários para avaliar os desempenhos das alternativas. Ainda como desvantagem, têm-se a necessidade de tratamento preliminar dos dados e transformação da escala cardinal para ordinal. Em alguns casos, a quantidade de informações que demanda traz dificuldades na definição dos limites de preferência e indiferença, que ao serem atribuídos aleatoriamente podem comprometer a modelagem do problema [14].

O método PROMETHEE foi desenvolvido a partir do ELECTRE, a fim de obter um método mais simples, visto que seu precursor requer muitos parâmetros. Esta metodologia propõe a construção de relações de superação, incorporando conceitos e parâmetros que possuem alguma interpretação física ou econômica, e que sejam de fácil compreensão para o decisor [14]. Calcula-se a função de preferência a partir da atribuição de pesos aos critérios e, posteriormente, são mensurados os valores de preferência e indiferença. Uma vez calculado o grau de preferência, deve-se medir o valor do fluxo de superação positivo, que indica o quanto a alternativa supera as demais, enquanto o negativo indica o quanto a mesma opção é superada pelas outras. Como mencionado em [14], uma grande vantagem é que apresenta uma modelagem matemática robusta e transparente, com um encadeamento lógico e racional das premissas e preferências por parte do decisor, em relação a cada um dos atributos considerados durante o processo de análise. Conforme apresentado em [15], o método destaca-se também por possuir uma ferramenta visual própria, facilitando o entendimento dos pesos na solução encontrada. Contudo, uma das suas desvantagens está na subjetividade envolvida em seu processo.

Já o MACBETH, conforme [17], distingue-se de outros métodos multicritério por empregar julgamentos qualitativos sobre a medida de atratividade nos processos de ponderação dos critérios e de avaliação das alternativas. Dadas duas opções, onde a primeira é melhor do que a segunda, avalia-se a diferença de atratividade a partir das categorias: muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte ou extrema. As comparações são realizadas duas a duas, avaliando qualitativamente a diferença de atratividade entre elas e escolhendo uma das categorias, ou várias categorias consecutivas em caso de hesitação ou divergência.

Assim, a escolha do método está relacionada à construção da estrutura de análise, composta pelos objetivos, alternativas e critérios. A compreensão dos princípios e aplicações dos métodos apresentados é facilitada pela visualização do fluxograma de decisão (Fig. 1), adaptado de [14].

III. ANÁLISES E RESULTADOS

As definições e delimitações exploradas no decorrer da metodologia possibilitaram algumas avaliações pertinentes, que são demonstradas a seguir.

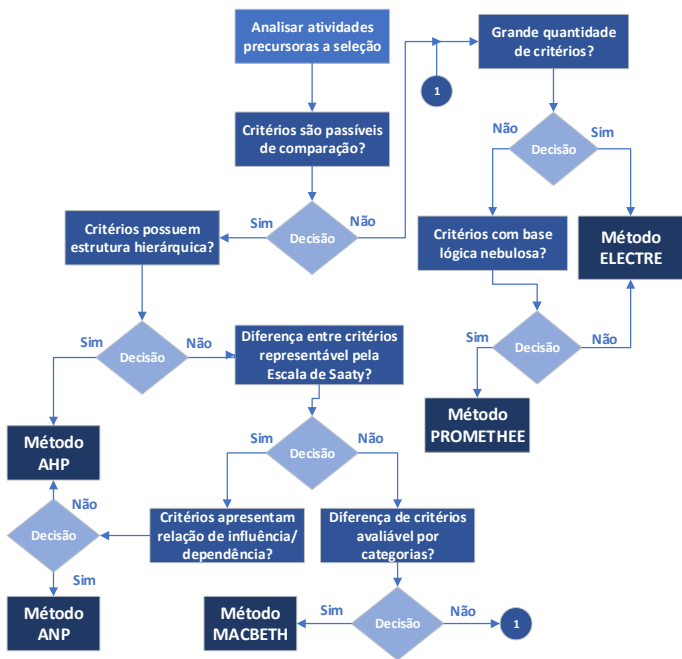


Fig. 1 – Fluxograma para Decisão entre os Métodos Multicritério AHP, ANP, ELECTRE, PROMETHEE e MACBETH. Adaptado de [15].

A. Análise das relações entre critérios

É possível observar que os critérios adotados estabelecem, de alguma forma, correlações entre si, apresentando pontos comuns que inferem em suas definições.

O indicador de concentração de veículos relaciona-se diretamente com os padrões de mobilidade urbana observados, à medida que é influenciado pelas características dos deslocamentos, bem como suas durações e horários de partida e chegada. Além disso, a concentração de veículos e consequentemente os padrões de mobilidade, podem estar associados às condições geográficas, já que refletem o motivo dos deslocamentos, como o trabalho, escola, lazer, e retorno às residências.

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 a disponibilidade de espaço físico e infraestrutura (nova ou existente). Também é influenciada pela capacidade de EC, no que se refere ao dimensionamento adequado e a instalação de carregadores e demais estruturas necessárias.

A capacidade da EC está intimamente ligada à concentração de veículos, de modo que se garanta a capacidade suficiente para suprir o número necessário de recargas, isolada e simultaneamente. Já com as condições técnicas do sistema elétrico, a influência se dá em ambas as direções, de modo que o dimensionamento da EC necessita considerar as premissas técnicas de operação das redes, ao mesmo tempo em que, as condições apropriadas de funcionamento do sistema estão condicionadas ao planejamento e operação adequados das EC.

O mesmo ocorre entre as condições geográficas e as condições técnicas do sistema: a viabilidade de implantação de EC em um determinado espaço também é uma decisão decorrente de um melhor cenário possível de operação do sistema elétrico. Este, por sua vez, têm refletido em sua operação, os efeitos das condições de utilização a que está submetido.

B. Análise Comparativa dos Métodos (TABELA)

Com base nas características e particularidades de cada método, foi possível realizar uma avaliação comparativa entre eles, de modo a destacar suas diferenças e semelhanças, além de avaliar qual melhor se encaixa neste estudo.

Inicialmente, uma análise entre os métodos AHP e ANP, demonstra suas semelhanças gerais. Tal como apresentado em [15], ambos métodos, em comparação aos demais, apresentam vantagens como a característica de simplicidade, a possibilidade de incorporar fatores qualitativos e quantitativos, além de propiciar sua aplicação associada a outros métodos de solução, como otimização e programação objetiva.

Conforme o propósito de análise, o ANP pode se destacar frente ao AHP por apresentar uma estrutura em rede e permitir relações de dependência e feedback entre os elementos. Dessa forma, oferece maior eficiência a aplicações em ambientes de decisão com fator incerteza, já que muitos problemas não podem ser representados hierarquicamente por existir dependência entre os elementos. Ainda, em comparação ao AHP, o ANP oferece uma abordagem mais realista na formulação do problema e um tempo de desenvolvimento menor, além de maior exatidão à medida em que o problema da reversão de ranking é atenuado neste método.

Já os métodos ELECTRE e PROMETHEE demonstram uma relação expressiva, considerando que são predecessor e sucessor, respectivamente. Ambos métodos são vulneráveis a subjetividade, onde o primeiro deles demanda a atribuição de vários parâmetros dificilmente mensuráveis pelo decisor, enquanto o PROMETHEE se mostra mais robusto às variações nos parâmetros, promovendo a sua aplicação principalmente em sistemas de preferências nebulosas.

Ao mesmo tempo, têm-se o MACBETH, que atua em uma região intermediária às aplicações do ELECTRE e AHP. O ELECTRE modela apenas estruturas de preferência ordinal, onde duas opções podem ser indiferentes, ou uma é estritamente preferível à outra, ou ainda pode haver a hesitação entre indiferença e preferência estrita. O método AHP requer do avaliador um juízo cardinal sobre o número de vezes que uma opção é preferível à outra. Então, no MACBETH, a informação preferencial interpõe-se entre o nível ordinal (utilizado no ELECTRE) e o cardinal (presente no AHP), de forma que o juízo qualitativo requerido do avaliador trata-se da diferença (e não a razão) de valor entre cada duas opções. Ainda, o MACBETH se propõe a ser mais robusto e solucionar os problemas de inconsistência frequentemente apontados no AHP.

C. Escolha e Justificativa do Método

Diante das análises e pontos explorados, é possível verificar que mais de um método poderia ser empregado neste estudo. Contudo, o comportamento expressivo de interdependência dos critérios determinados, traz a metodologia ANP como a opção mais adequada. Justifica-se pela simplicidade do método somada à adaptabilidade ao problema proposto, que demonstra influência entre elementos, permitindo utilizar os critérios definidos, sem desprezar suas relações e comprometer aspectos importantes deste processo de tomada de decisão.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho representa uma etapa de um estudo abrangente sobre a definição de estratégias para localização de Estações de Carregamento para Veículos Elétricos, compreendendo, contudo, análises e definições bastante determinantes para o desenvolvimento do trabalho.

Como principais contribuições destacam-se a definição e análise do conjunto de critérios a ser utilizado na avaliação multicritério para decisão da alocação das EC, e a definição do método mais apropriado ao objetivo deste estudo e a composição do problema conforme estrutura do método. Além disso, esta análise oferece uma revisão sobre a técnica de Apoio Multicritério à Decisão, explorando as características dos métodos multicritérios selecionados, comparando-os e identificando suas aplicações mais adequadas.

Ressalta-se que as análises demonstradas neste trabalho correspondem a uma parcela importante do desenvolvimento deste estudo, de forma que propõe-se, como seguimento, aplicar efetivamente o método escolhido, expor as alternativas possíveis e explorar os critérios na avaliação destas. Também, considera-se incluir ponderações de ordem regulatória ao conjunto de critérios, já que recentemente se estabelece um novo cenário regulamentado de recarga de VE, em âmbito nacional.

Espera-se a partir destes resultados, obter uma metodologia para definir alocação de estações de carregamento, avaliando diferentes cenários de alocação, de modo a oferecer uma base para estudos posteriores que tratem da integração dos VEs e da infraestrutura relativa. Além disso, espera-se caracterizar informações relacionadas a atuação do indivíduo, enquanto usuário de VE e, sob uma nova perspectiva de consumo de energia elétrica proveniente da integração da mobilidade elétrica aos sistemas de energia, como uma ferramenta no ambiente de planejamento de expansão e operação dos sistemas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas de Energia de Geração Distribuída (INCT-GD), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

REFERÊNCIAS

- [1] CGEE. Redes Elétricas Inteligentes: Contexto Nacional. Brasília: [S.N.]. Disponível Em: www.cgee.org.br/Atividades/Redirect/8050.
- [2] N. M. D Lima, “Comparação de Estratégias de Carregamento de Veículos Elétricos”. [S.L.] Universidade Do Porto, 2012.
- [3] N. Knak Neto, “Metodologias Para Modelagem De Cargas De Baixa Tensão Considerando A Integração De Resposta À Demanda, Geração Distribuída E Veículos Elétricos.” [S.L.] Universidade Federal De Santa Maria, 2017.
- [4] H. Shareef; M. M. Islam; A. A. Mohamed, “Review of the Stage-Of-The-Art Charging Technologies, Placement Methodologies, and Impacts of Electric Vehicles”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, V. 64, P. 403–420, 2016.
- [5] R. Baran, “A Introdução de Veículos Elétricos No Brasil: Avaliação Do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade.” [S.L.] Universidade Federal do Rio De Janeiro, 2012.
- [6] E. Veldman, R. A. Verzijlbergh, “Distribution Grid Impacts of Smart Electric Vehicle Charging from Different Perspectives”. *IEEE Transactions on Smart Grid*, V. 6, N. 1, P. 333–342, 2015.
- [7] L. E. Bremermann. “Impact Evaluation of The Large Scale Integration Of Electric Vehicles In The Security Of Supply”. [S.L.] Universidade Do Porto, 2014.
- [8] W. Jianfeng, et al, “Charging Demand for Electric Vehicle Based on Stochastic Analysis of Trip Chain”. *IET Generation, Transmission & Distribution*, V. 10, N. 11, P. 2689–2698, 2016.
- [9] E. S. Mello, “Mobilidade Urbana Sustentável em Projetos Estruturantes”. [S.L.] Universidade Federal do Rio Grande Do Norte, 2008.
- [10] R. R. Paula, “Método de Monte Carlo e Aplicações”. [S.L.] Universidade Federal Fluminense, 2014.
- [11] M. Zeng; X. Zhan; Y. Li, “Optimal Planning for Ev Charging Station Considering the Constraint of Battery Capacity”. *International Conference on Artificial Intelligence: Technologies and Applications*, 2016.
- [12] T. Guo, P. You, Z. Yang, “Recommendation of Geographic Distributed Charging Stations for EV: A Game Theoretical Approach”. *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2017.
- [13] W. Ejaz, M. Naeem, M. R. Ramzan, F. Iqbal, A. Anpalagan, “Charging Infrastructure Placement for EV: An Optimization Prospective”. *International Telecommunication Networks and Applications Conference*, 2017.
- [14] M. S. Leite, F. F. T. Freitas, “Análise Comparativa dos Métodos de Apoio Multicritério a Decisão: AHP, Electre e Promethee. Encontro Nacional de Engenharia De Produção. Bento Gonçalves – RS, 2012.
- [15] L. P. A. S. Nascimento, A. C. S. Silva, M. C. N. Belderrain, “Revisão de Literatura Sobre A Aplicação do Método ANP ao Problema de Seleção De Fornecedores”. *Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional*. João Pessoa – PB, 2008.
- [16] J. M. B. P. Braz, “O Macbeth Como Ferramenta MCDA Para O Benchmarking de Aeroportos”. [S.L.] Universidade Da Beira Interior, 2011.
- [17] Bana e Costa, et al, “O Método Macbeth e Aplicação No Brasil.” *Engvista*, V. 15, N. 1. P. 3-27, 2013.
- [18] R. Teixeira; J. R. Sodrê, “A Review on The Impact of Electric Vehicles on The Electric Grid”. *International Congress of Mechanical Engineering - COBEM*. Ribeirão Preto - SP, 2013.
- [19] E. C. Simon, “Avaliação de Impactos Da Recarga De Veículos Elétricos Em Sistemas De Distribuição”. [S.L.] Universidade Federal do Rio De Janeiro, 2013.
- [20] Instituto Nacional De Estatística. Inquérito da Mobilidade da População Residente. Porto: [S.N.]. Disponível Em: https://www.Ine.Pt/Ngt_Server/Attachfileu.Jsp?Look_Parentboui=7251068&Att_Display=N&Att_Download=Y.
- [21] M. Brenna, A. Dolara, S. Leva, M. Longo, D. Zaninelli, “Optimal Playing of EV Charging Station”. *International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, 2017.