



Grupo de Estudo de Aspectos Empresariais e de Gestão Corporativa e da Inovação e da Educação e de Regulação do Setor Elétrico-GEC

MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO PARA ALOCAÇÃO GEOGRÁFICA DE ELETROPOSTOS

**ADAN LUCIO PEREIRA(*); LUCAS FRIZERA ENCARNAÇÃO; JUSSARA FARIAS FARDIN.
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES**

RESUMO

Um eletroposto é responsável por conectar um Veículo Elétrico *plug-in* à rede elétrica a fim de se realizar o carregamento da bateria, conseqüentemente, o consumo de potência destes eletropostos depende do nível e do tipo de sua recarga efetuada, pois, quanto mais rápida é a recarga, maior é a potência drenada da rede. Inserindo-se neste contexto, o presente trabalho visa apresentar um método de otimização baseado na Meta-heurística *Greed Randomized Adaptative Search Procedure* com o objetivo de realizar a alocação de eletropostos em uma região, levando em consideração tanto os aspectos geográficos da região quanto as características do sistema elétrico analisado.

PALAVRAS-CHAVE

Métodos de Otimização, Alocação de Eletropostos, Veículos Elétricos Plugáveis

1.0 - INTRODUÇÃO

Em muitas partes do mundo, as preocupações com a segurança do abastecimento de energia e as conseqüências com o meio ambiente em relação às emissões de gases efeito estufa têm estimulado a adoção de políticas governamentais que apoiam um aumento previsto das fontes de energia renováveis. Como resultado, as fontes de energia renováveis apresentam um crescimento mais rápido de geração de energia elétrica, de 2,8 % ao ano entre 2010 e 2040. Depois da geração renovável, o gás natural e a energia nuclear serão as fontes de crescimento mais rápido [1].

Neste contexto, a demanda de energia no mundo cresceu 2,3% no ano de 2018, seu ritmo mais rápido nesta década, um desempenho excepcional impulsionado por uma economia global robusta e necessidades mais fortes de aquecimento e resfriamento em algumas regiões. O gás natural surgiu como o combustível de escolha, registrando os maiores ganhos e respondendo por 45% do aumento no consumo de energia. O crescimento da demanda de gás foi especialmente forte nos Estados Unidos e na China [2].

Essa crescente demanda por energia, trouxe consigo benefícios tecnológicos (eficiência dos sistemas de armazenamento, sistemas inteligentes integrados, gestão avançada, etc.) que estão permitindo cada vez mais a modernização dos sistemas de geração de energia em direção às fontes renováveis de forma distribuída, incorporando à área de transportes, o conceito de eficiência energética associada à eletrificação dos meios de transporte de maneira geral. Conseqüentemente, a utilização dos Veículos Elétricos (VE) em contrapartida aos movidos a combustão, passou a ser vista como uma realidade que deve ser levada em consideração no planejamento urbano moderno [3].

Um Veículo Elétrico pode ser visto como um recurso energético distribuído, pois, ele reúne as modalidades de consumo, geração e armazenamento, e, ainda, a mobilidade. O desenvolvimento dos VEs, nos últimos anos, está diretamente ligado à evolução dos principais tipos de tecnologias de armazenamento de energia. Assim, o avanço

tecnológico na produção de sistemas de armazenamento mais leves e mais econômicos tem encorajado a perspectiva da presença mais efetiva de veículos elétricos na matriz de transporte mundial [4].

No panorama geral, a integração de veículos elétricos já pode ser vista como uma estratégia promissora para a redução significativa da emissão dos gases do efeito estufa no setor de transporte, principalmente nos grandes centros urbanos, que concentram uma parcela de veículos automotores movidos a combustão. Corroborando com esta situação, ao analisar os dados disponibilizados em EV-Volumes (2018), é possível afirmar que as vendas dos veículos elétricos no primeiro semestre de 2018 superou as vendas de 2017 em aproximadamente 66% no mesmo período, já em julho, os resultados preliminares demonstram um aumento de 53% com relação ao mesmo período de 2017. Estas incluem todas as vendas de veículos, tanto os a bateria como os híbridos, veículos comerciais na Europa e caminhões leves nos EUA / Canadá [5].

Um eletroposto é responsável por conectar um VEP à rede elétrica afim de se realizar o carregamento da bateria, conseqüentemente, o consumo de potência destes eletropostos depende do nível e do tipo de sua recarga efetuada, pois, quanto mais rápida é a recarga, maior é a potência drenada da rede. Adicionalmente, os eletropostos podem ser instalados em locais onde uma infraestrutura de apoio já está consolidada, como em estacionamentos de shoppings, restaurantes e outros centros comerciais com grande circulação de pessoas[5-6].

Segundo a ABVE (2018), quando comparado aos países da Europa e da América do Norte, o Brasil ainda possui poucos pontos de recarga de veículos elétricos. Entretanto, a um tempo, os investimentos públicos em parceria com 22 empresas privadas têm desenvolvido eletropostos no país, como é o caso da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) que possui seis eletropostos, onde dois deles são em parceria privada com a Natura e a 3M. Outro Exemplo que pode ser citado, é o da Itaipu Binacional que possui 12 eletropostos em operação em Curitiba, 8 em Foz de Iguaçu e 3 em Brasília. Já no Espírito Santo existem apenas 20 carros elétricos, até maio de 2018, e o primeiro eletroposto foi inaugurado em junho de 2018 e está situado no Shopping na Praia do Suá [3, 7]. Neste sentido, desenvolver mecanismos que auxiliem na tomada de decisão quanto a uma infraestrutura adequada para a recarga dos VEs são de suma importância para viabilizar este crescimento notável. Motivados por essa problemática, o presente informe técnico se objetiva mapear a situação atual do desenvolvimento dos VE e então apresentar um método de otimização que sirva como base para a tomada de decisão quanto a alocação de eletropostos em uma região qualquer.

2.0 - MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO

Ao verificar os trabalhos implementados na literatura, sob o ponto de vista dos métodos de otimização, os autores, em geral, vêm desenvolvendo novas metodologias que se diferenciam quanto ao algoritmo implementado e à função objetivo utilizada [8-10]. Em geral, os métodos mais comuns de alocação podem ser divididos em três grupos, o primeiro consiste nos métodos baseados na tradicional programação matemática como, por exemplo, o *Branch Method* (Método dos Ramos) e o *Bound Method* (Método dos Limites); o Segundo aborda os métodos Heurísticos tais como o *Algorithm Branch-Exchange* (Algoritmo Troca de Ramo) e o *Optimal Flow Pattern Algorithm* (Algoritmo Padrão de Fluxo Ótimo) e o terceiro grupo os métodos Meta-Heurísticos, que são os algoritmos baseados em técnicas de inteligência artificial tais como *Genetic Algorithm* (Algoritmo Genético), *Particle Swarm Optimization* (Otimização por Enxame de Partículas), *Annealing Algorithm* (Algoritmo de Recozimento) e *Tabu Search Algorithm* (Algoritmo de Busca Tabu).

Os métodos baseados na Programação Matemática utilizam muitos cálculos matemáticos durante sua execução na busca por uma solução para o problema de congestionamento, o que torna a situação de busca bastante complicada, uma vez que pode ocasionar uma explosão combinatória. Essa explosão pode acontecer quando um aumento mínimo na quantidade de dados/informações, como por exemplo a alteração da topologia física do sistema de transporte, resulta em um grande aumento de possibilidades e tempo para resolução do mesmo, o que, muitas vezes, torna o método inviável de ser aplicado ao problema [9]

Inserindo-se neste contexto, os métodos heurísticos (ou simplesmente heurísticas) de otimização são métodos que obtêm soluções aproximadas para problemas de otimização e podem ser utilizados como mecanismos de auxílio para a tomada de decisão de um problema. Dessa forma, o desenvolvimento de heurísticas surge em resposta à impossibilidade de se resolver satisfatoriamente diversos problemas de otimização NP-difíceis. Para [10] os métodos heurísticos visam encontrar uma solução, não necessariamente a melhor, em um tempo computacional aceitável. São aplicados quando a obtenção da solução ótima de um problema é computacionalmente dispendiosa quando realizada utilizando-se métodos exatos.

Nas últimas décadas, os métodos heurísticos tradicionais, foram sendo modernizados e se particularizando quanto as diversas aplicações. Também apareceram propostas que se complementam. Assim, como forma de potencializar o desempenho do espaço de soluções de um problema, o processo de busca passou a ser guiado por metaheurísticas. As metaheurísticas, ou heurísticas modernas, apresentam bastante flexibilidade quanto a formulação e codificação de problemas, atendendo a restrições muito específicas, sob diferentes abordagens do contexto de aplicação. São técnicas heurísticas mais robustas, que resolvem um problema de otimização procurando, a cada iteração, o elemento constituinte da solução que mais reduz o custo total naquele momento. A busca se encerra quando todos os elementos da solução tiverem sido calculados. Assim, uma metaheurística pode ser vista como uma ferramenta algorítmica geral que pode ser aplicada a diferentes problemas de otimização, com modificações relativamente pequenas para torná-la adaptável a um problema [3, 8]. Em concordância com essas características apresentas, um método heurístico que comumente é utilizada para problemas NP-difícil, motivado

pela ampla utilização encontrada na literatura e na possibilidade de expandir os benefícios de um método de otimização, neste trabalho, a análise da alocação de eletropostos será realizada utilizando como base a Meta-heurística *Greed Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP)*.

3.0 - CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os VEs podem ser classificados em quatro categorias. A primeira delas, denominada Veículos Elétricos Plugáveis (VEP), compreende os veículos que utilizam uma bateria recarregada por fontes externas, como por exemplo a rede elétrica, para alimentar o motor elétrico, uma vez que a eletricidade é fornecida por uma fonte externa, é utilizado o termo plug-in. Na segunda categoria se encontra os veículos que utilizam painéis solares como fonte de geração da energia elétrica, toda a energia gerada é armazenada em baterias e posteriormente utilizada pelo motor elétrico, são denominados então de Veículos Elétricos Solares [11- 14]

Já categoria dos Veículos Elétricos Híbridos (VEH), que podem ser plugáveis ou não, contempla os veículos que utilizam um motor a combustão interna e um motor elétrico, em conjunto, para realizar a propulsão. Quando plugáveis, combinam o motor a combustão com um ou mais motores elétricos a bateria, podendo ser carregada tanto pela rede elétrica quanto pelo motor a combustão, sendo assim denominados Veículos Elétricos Híbridos Plugáveis (VEHPs). Quando o VEH não é conectado à rede, eles combinam um motor a combustão interna com um gerador, baterias e um ou mais motores elétricos, sendo sua principal função a redução do gasto de energia e consequente economia de combustível. Na quarta categoria, se encontram os Veículos Elétricos de Célula a Combustível, que são veículos movidos por energia gerada a partir de hidrogênio ou etanol como combustível [12, 14]. A Figura 1 apresenta a arquitetura física dos componentes básicos desses veículos.

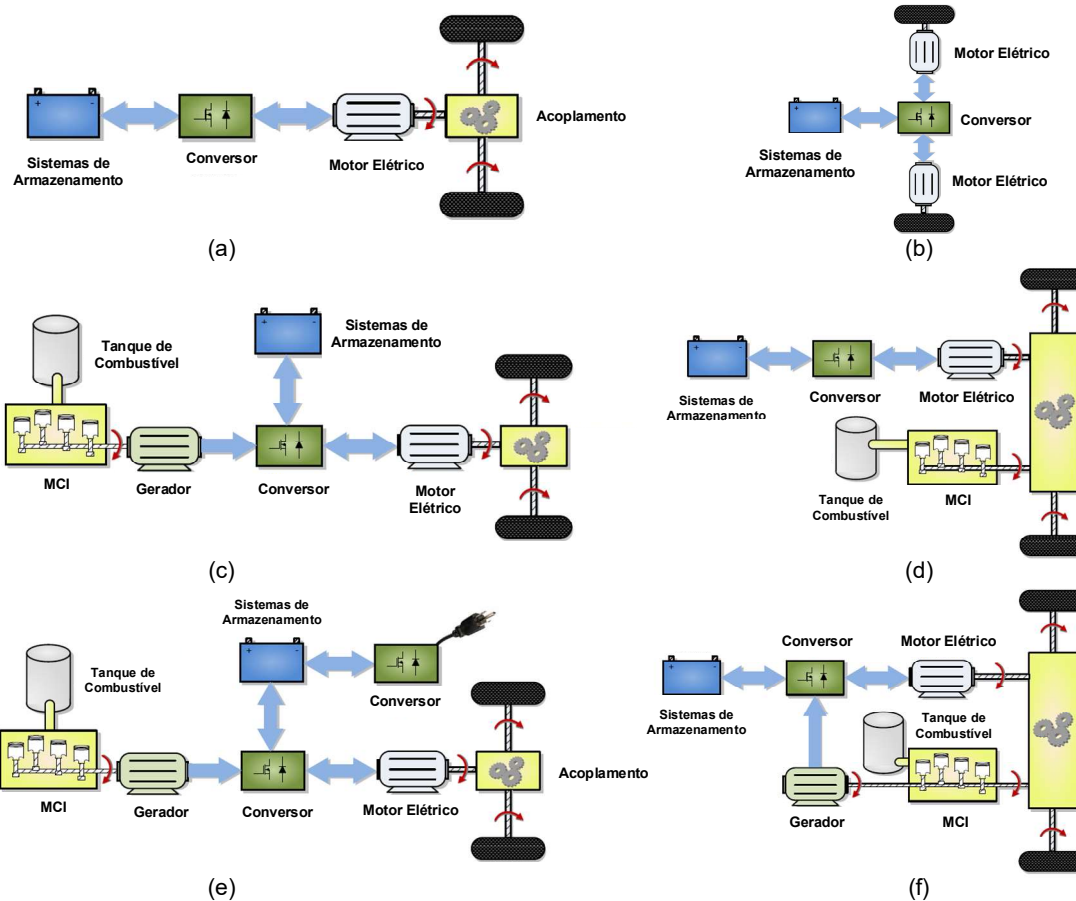


Figura 1 - Topologia para VE. Em (a) VE a bateria; (b) Configuração de motor diretamente acoplado; (c) VEH-Série; (d) VEH-Paralelo; (e) VE-Plug in (f) VE- Série-Paralelo

Fonte: Adaptado de [15]

A Figura 1.a ilustra a topologia mais simples associada a um veículo elétrico a bateria, esse processo mostra que a energia proveniente dos sistemas de armazenamentos passa por um conversor que aciona o motor elétrico. A relação de tração nos Veículos puramente elétricos pode ser realizada acoplando os motores elétricos diretamente às rodas do automóvel, como ilustrado na Figura 1.b Os Veículos Elétricos Híbridos podem ser elaborados segundo uma arquitetura em série (Figura 1.c), onde o Motor de Combustão Interna (MCI) é acoplado ao gerador de energia que é responsável por recarregar os sistemas de armazenamento e alimentar o motor elétrico; também podem ser elaborados com uma arquitetura em paralelo (Figura 1.d) tanto o motor elétrico quanto o MCI podem fornecer torque às rodas do veículo. Todas as configurações descritas na Figura 1 podem ser vinculadas a um

mecanismo plug-in (Figura 1.e), e conseqüentemente, passarem a necessitar de uma estrutura de carregamento, o eletroposto. Por fim, é possível encontrar veículos híbridos ligados em série-paralelo como é apresentado na Figura 1.f.

4.0 - ASPECTOS DA MÉTODOLOGIA PROPOSTA

A pesquisa é caracterizada como um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, cujo objetivo fundamental é descobrir resposta para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos. Quanto à natureza a pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada ou prática, pois, busca gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos. Os procedimentos metodológicos usados são baseados em uma abordagem qualitativa, de natureza aplicada, com um método científico indutivo e um objeto de estudo explicativo. Relativamente aos procedimentos técnicos de pesquisa, recorreu-se a pesquisa experimental [16]. O objeto da metodologia do problema consiste na obtenção de pontos ou partes de trajetos, de uma região mapeada, em que a presença de eletropostos possa atender a maior quantidade de pessoas ou volume de VE, pré-definidos em cenários de análise. Para resolução do problema implica: formulação do problema; definição dos pontos importantes a serem analisados; definição dos horários de congestionamento nas vias de análise; definição do modelo heurístico; descrição da modelagem das ruas e avenidas como grafos; ponderação de pesos conforme a quantidade de pessoas e contagem volumétrica de carros, para cada aresta e vértice do grafo; projeção e execução dos experimentos; e análise dos dados obtidos com a execução das técnicas heurísticas.

Quanto aos procedimentos utilizados na condução dos experimentos com heurísticas recorreu-se a uma análise de algoritmos de forma assintótica e de experimentação; assintótica, pois, os algoritmos implementados podem ser analisados por meio de complexidade de tempo e complexidade de espaço e; de experimentação, pois, o a simulação realizada é baseada em experiências, observações e tentativas, que podem ser confirmadas ou rejeitadas através dos resultados obtidos após a confecção da técnica utilizada [17]. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre conceitos básicos e metodológicos acerca da simulação de sistemas e do campo de abordagem dos VEs e dos métodos heurísticos, sendo consultados em anais de congressos, resumos, livros e nas bases de dados eletrônicas *ResearchGate*, *Springer*, *Google Scholar*, *Ebsco*, *Scielo*, *Science Direct*, *Scopus*, *Emerald* e o Portal de Periódicos CAPES com objetivo de identificar, sintetizar e avaliar todas as informações disponíveis relevantes a respeito dos métodos heurísticos disponíveis na literatura e, ainda, definir a situação atual do desenvolvimento de possíveis modelagens realizadas nos sistemas de transportes da RMGV.

4.1 Representação e Modelagem de Sistemas como Grafos

Qualquer sistema pode ser modelado como um grafo $G = (V,E)$, o qual V representa o conjunto de vértices, também chamados de nós, e E representa o conjunto de arestas também chamadas de ligações ou conexões. Dessa forma, ao se imaginar um grafo para a representação de uma região em extensão territorial, um cruzamento ou interseção de uma rua com outra rua pode ser determinado como um vértice V e a própria rua ou avenida como uma aresta E [18]. Para os testes realizados no presente informe técnico, foram consideradas dois bairros da cidade de Vitória-ES, Mata da Praia e Jardim da penha. Esses bairros estão situados próximos a 3 importantes avenidas da cidade de Vitória, a Av. Dante Michelini, Av. Fernando Ferrari e a Av. Adalberto Simão Nader. Dessa forma, eles podem servir de conexão para pontos estratégicos da cidade como o aeroporto de Vitória, a Universidade Federal do Espírito Santo e outros bairros, como por exemplo, Goiabeiras, Morada de Camburi, Jardim Camburi e a Praia do Canto. Adicionalmente, a Av. Fernando Ferrari representa o primeiro ponto de acesso a Av. Nossa Senhora da Penha, via responsável por interligar a cidade de Vitória à Rodovia do Sol e em seguida à BR 101. A Figura 2 (a) indica a representação territorial desses dois bairros e a Figura 2 (b) o grafo completo, tratado neste trabalho, baseado nos Bairros da Mata da Praia e Jardim da penha; as arestas com traços contínuos indicam a presença de uma conexão entre dois vértices quaisquer; já as arestas descontínuas são indicadas como ligações que não possibilitam a passagem de automóveis.

4.2 Levantamento de dados e informações locais

Foi realizada uma pesquisa de frequência e ocupação visual na região mapeada, a fim de se identificar os pesos relativos para cada um dos pontos de vértices dos grafos. Adicionalmente, foi realizada uma pesquisa de caracterização ocupacional na Avenida Dante Michelini, na Avenida Fernando Ferrari e na Avenida Adalberto Simão Nader, as três principais avenidas locais do campo de estudo. Todos os levantamentos foram realizados em horários de pico da manhã e da tarde e em dias típicos (de terça a quinta-feira), em semanas sem feriados.

Dessa pesquisa foram constatados problemas de congestionamento nas três avenidas nos horários de 07h30min-8h40min e de 17h20min-19h30min. Ambos os horários são tipicamente relatados pela população local como os horários em que mais se ocorrem acidentes e transtornos decorrentes do trânsito, o que caracteriza um grande volume de carros na região durante o período. Entretanto, as ruas e avenidas incorporadas aos bairros da Mata da Praia e Jardim da Penha não apresentam o mesmo problema das outras avenidas analisadas. Assim, a Av. Des. Dermeval Lyrio, a Av. Hugo Viola, a Av. Carlos Gomes de Sá e a Av. Nicolau Von Schilgen por uma análise visual e por uma pesquisa com moradores locais, nos horários de pico (07h30min-8h40min e 17h20min-19h30min), indicam um fluxo de veículos sem problemas de congestionamento ou acidentes constantes.

Para tanto, desenvolver um método que sirva de auxílio sobre a alocação de eletropostos necessita dessas informações como forma de priorizar regiões que não apresentem problemas de congestionamento constantes, entretanto estão localmente próximas as avenidas principais.

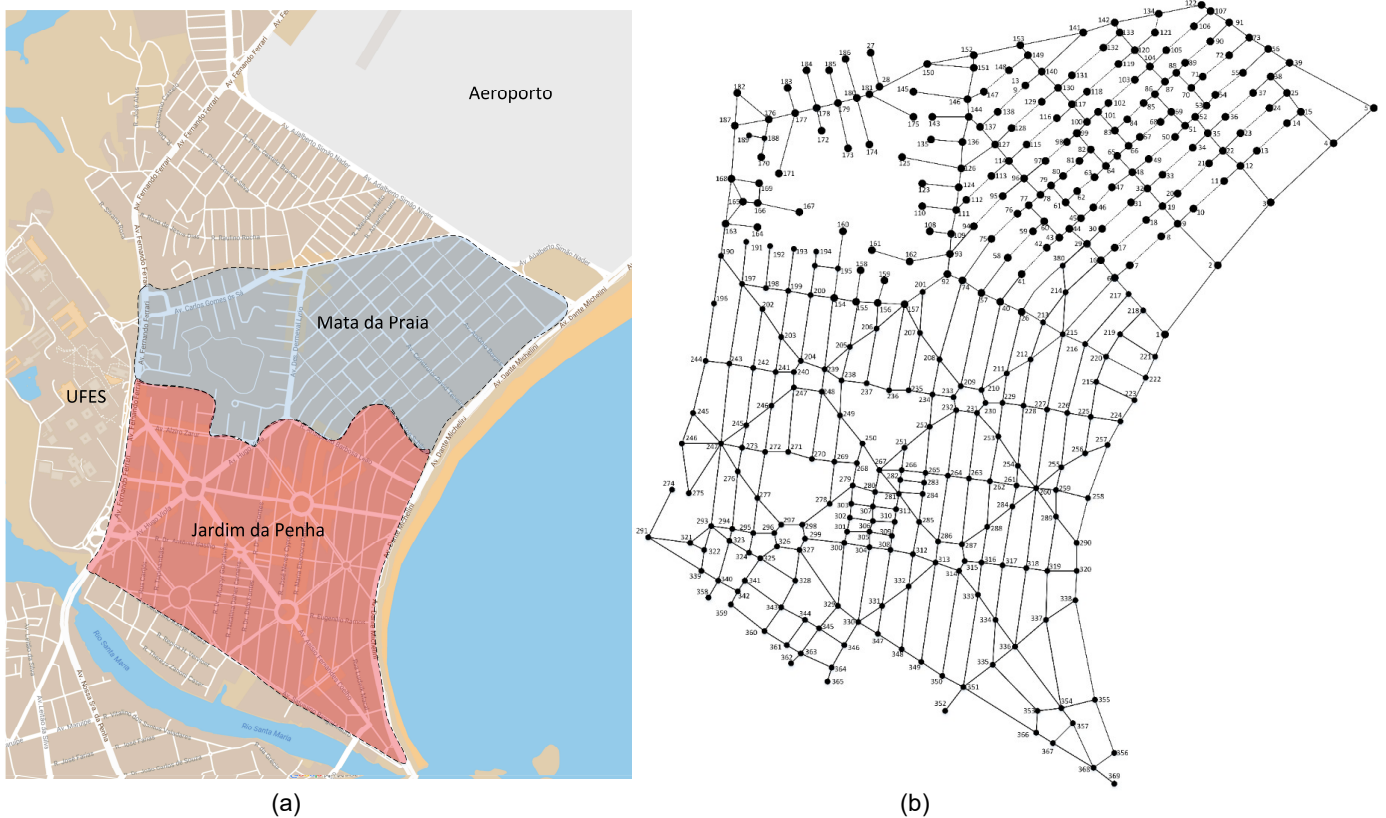


Figura 2 - Representação e Modelagem de Sistemas como Grafos. Em (a) Vista territorial dos bairros Mata da Praia e Jardim da Penha; (b) Representação como um grafo

Fonte: Elaborado pelos autores

4.3 Desenvolvimento do Método Heurístico para Alocação de Eletropostos

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou no ano de 2018, a regulamentação sobre a recarga de veículos elétricos por interessados na prestação desse serviço (distribuidoras, postos de combustíveis, shopping centers, empreendedores). Dessa forma, a ANEEL optou por uma regulamentação mínima do tema, que evita a interferência da atividade nos processos tarifários dos consumidores de energia elétrica, quando o serviço for prestado por distribuidora. Ficou definido que a ANEEL irá disponibilizar um formulário eletrônico que permita a qualquer consumidor interessado o envio das informações necessárias ao registro junto à Agência das estações de recarga em unidades consumidoras de sua titularidade [19].

Dessa forma, para o desenvolvimento do método, estabeleceu-se alguns parâmetros levantados em relação a pesquisas locais para a caracterização do ambiente com isso, se fez necessário a identificação dos intervalos de tempo durante o dia com maiores demandas de recarga de veículos elétricos (considerando a substituição dos veículos a combustão), as regiões que possuem maior circulação de pessoas e frotas de veículos e a distância mínima, pré-estabelecida, entre os eletropostos, uma vez que pela regulamentação da ANEEL não existe qualquer restrição quanto ao local onde poderá ser estabelecido a alocação de um eletroposto.

Estes dados servirão como parâmetros de entrada para método heurístico desenvolvido, com o objetivo de apresentar uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão sobre os melhores pontos em que os eletropostos podem ser incluídos de forma a maximizar o atendimento dos consumidores que desejam efetuar recargas de VEs baseadas nas demandas atuais do fluxo de veículos. Assim, com os dados agrupados, foram construídas a matriz de conectividade (informação relativa a conexões do grafo de teste), a distância entre os vértices, a prioridade das cargas (locais onde uma infraestrutura de apoio já está consolidada, como em estacionamentos de shoppings, restaurantes e outros centros comerciais com grande circulação de pessoas, possuem maior prioridade em relação a locais residenciais)

Para exemplificar, a Figura 3 mostra a representação de um trecho de um grafo, onde N_{in} é um nó que conecta, por meio de um ramo, um nó N_{out} . Os valores de N_{rs} e N_b são importantes para verificar o fluxo de veículos representado por cada aresta, eliminando possíveis redundâncias. Nessa Figura, N_{rs} indica a quantidade de ramos, N_b o número total de nós e, X a situação das arestas quanto a passagem ou não de um veículo.

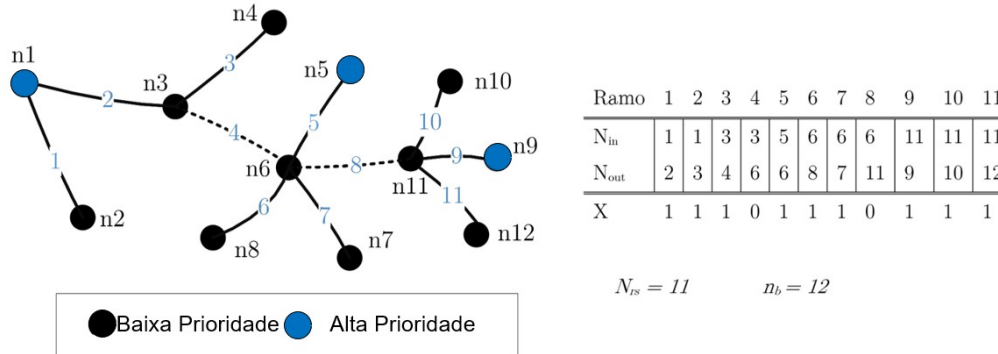


Figura 3 - Representação e Modelagem de Sistemas como Grafos.
Fonte: Elaborado pelos autores

É possível observar na Figura 3 que o nó n_3 (N_{in}) está conectado ao nó n_6 (N_{out}) por meio do ramo 4 e que o valor do vetor X(Ramo) é igual a 0 pois esse ramo representa uma passagem bloqueada para veículos. Já o nó n_6 se conecta ao nó n_8 por meio de uma aresta fechada (permite a passagem de veículo), uma vez que o vetor X (Ramo) é igual a 1.

Com o grafo estruturado, o próximo passo consistiu no desenvolvimento do método baseado na *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) [20] híbrido com a metaheurística Busca de Vizinhança Variável (VNS) [21] e pode ser utilizada para a obtenção de soluções dos problemas de otimização em geral. Esta metaheurística é dividida em duas fases principais: a fase construtiva, que é baseada em um Algoritmo Heurístico Construtivo (AHC), responsável por gerar uma solução, elemento a elemento; e a fase de melhoria local, na qual um ótimo local na vizinhança da solução construída é pesquisado, para este trabalho, foi baseada na VNS. A melhor solução encontrada ao longo de todas as iterações GRASP é retornada como uma possível solução para o problema.

Na primeira fase do GRASP, isto é a fase de construção, deve ser utilizada uma heurística construtiva parcialmente gulosa. Basicamente, a diferença entre a heurística gulosa e a heurística parcialmente gulosa é que nas heurísticas gulosas sempre se escolhe o melhor elemento (aquele que minimiza ou maximiza a função de avaliação) para compor a solução. Já na heurística parcialmente gulosa, a escolha do seguinte elemento é realizada de forma aleatória dentre aqueles que compõem uma lista restrita dos melhores elementos candidatos. A construção parcialmente gulosa é, portanto, caracterizada pela escolha aleatória de um dos melhores candidatos, enquanto a construção gulosa é caracterizada pela escolha do melhor elemento

De maneira geral, a Lista Restrita de Candidatos (LRC) é formada por um subconjunto dos melhores candidatos, isto é, aqueles cuja incorporação à solução parcial corrente resulta nos menores custos incrementais (aspecto guloso do algoritmo). O elemento a ser incorporado à solução parcial é selecionado aleatoriamente dentre aqueles da LRC (aspecto probabilístico do algoritmo). Uma vez que o elemento selecionado foi incorporado à solução parcial, a lista de candidatos é atualizada e os custos incrementais são reavaliados (característica adaptativa do algoritmo).

Na fase de melhoria local proposta neste trabalho foi baseada na metaheurística Busca em Vizinhança Variável (VNS) determinística, que é conhecida como Método de Descida em Vizinhança Variável (VND – *Variable Neighborhood Descent*). O VND é um método que explora o espaço de soluções através da troca sistemática de estruturas de vizinhança, aceitando apenas soluções de melhora da solução atual e retornando à primeira estrutura de quando uma solução melhor é encontrada

Durante o procedimento do algoritmo, cada iteração da fase de construção, o conjunto de elementos candidatos é formado por todos os elementos que ainda não foram incorporados à solução parcial em construção e que não inviabilizam a solução caso venham a ser incorporados. A escolha do próximo elemento a ser incorporado é determinada pela avaliação de todos os elementos candidatos de acordo com uma função gulosa. Para realizar essa operação a função avalia os benefícios ganhos com a inserção deste elemento na solução em construção

(custo incremental). Esse custo para o problema de alocação de eletropostos produz a maior relação entre área atendida e a quantidade de consumidores atendidos por região, considerando cenários de substituição gradual dos Veículos a combustão por VEs. A Figura 4 mostra dois fluxogramas que sintetiza os passos do desenvolvimento da GRASP e da VNS respectivamente indicados pela Figura 4 (a) e Figura 4(b).

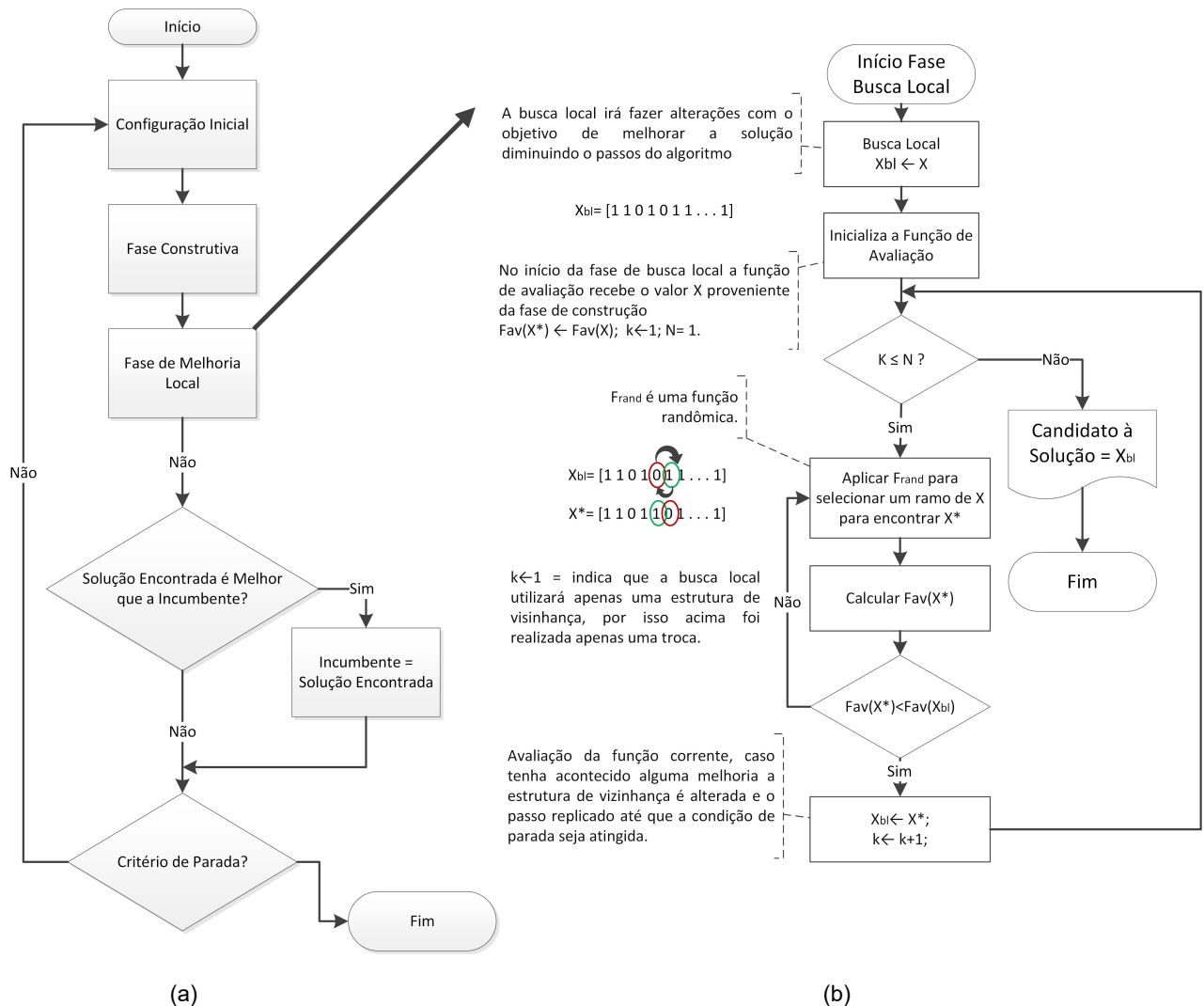


Figura 4 – Desenvolvimento do Método Heurístico. Em (a) Fluxograma da GRASP; (b) Fluxograma da Fase de Busca local da GRASP baseada na metaheurística VNS

Fonte: Elaborado pelos autores

5.0 - RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DESENVOLVIDO

O ambiente de implementação escolhido para execução do projeto foi o Matlab® licença estudantil, por ser um software computacional conhecido mundialmente como uma excelente ferramenta para soluções de problemas matemáticos, científicos e tecnológicos. O hardware de execução e desenvolvimento deste trabalho foi um computador com processador Intel Core i7 16GB de memória Dual-channel DDR4, com placa de vídeo NVIDIA GeForce GTX 1060 Max-Q Design, 1TB de HD e 256GB SSD.

Como observação importante relativa a pesquisa realizada, os pontos 1, 2, 3, 4 e 5, do grafo que representa os bairros, são pontos que conectam o bairro à Av. Dante Michelini e a outros importantes bairros como Jardim da Penha, Praia do Canto e Jardim Camburi, conecta também outras avenidas importantes para o acesso a cidade da Serra, cidade da Região Metropolitana da Grande Vitória. Os pontos 182, 187, são dois pontos que conectam o bairro à Av. Fernando Ferrari, que por sua vez dá acesso a Universidade Federal do Espírito Santo, ao Aeroporto, a Ponte da Passagem, ao principal Hospital público e bairros adjacentes como Jardim da Penha, República, Boa Vista, Goiabeiras, Antônio Honório, Jabour, Maria Ortiz, Solon Borges e a cidade da Serra. Já os pontos 122, 107, 91, 73, 56, 39, são pontos que conectam a Mata da Praia à Av. Adalberto Simão Nader que por sua vez dão acesso à Av. Fernando Ferrari e a Av. Dante Michelini. Outro ponto importante é o 367 (Jardim da penha) em que

dá acesso Ponte Arrton Senna. Os pontos 15 e 150 conectam o Parque da Pedra da Cebola com o acesso a Av. Dante Michelini. Por fim, o ponto 92 conecta o bairro a Av. Dante Michelini, ao Bairro Jardim da Penha e aos principais bancos da região. O grafo com 370 vértices foi mapeado conforme a prioridade de cada ponto e a distância entre eles. A tomada de decisão sobre qual critério poderá ser mais representativo pode ser definido por cada gestor de diferentes formas, por isso, o desenvolvimento do método não priorizou apenas um tomador de decisão para a caracterização da região (distância, prioridade, cliente residencial ou comercial).

O Quadro 01 resume os cenários 4 desenvolvidos como testes para o método desenvolvido. No primeiro cenário foi considerado a inserção de eletropostos leve, alocando 1 único eletroposto na região estudada. O retorno do algoritmo foi dado como um ponto de Acesso à Av. Hugo Viola pela Praça Wolghano Neto, ponto que pode ser validado pela pesquisa de frequência ocupacional e observacional realizada previamente ao trabalho, justamente por ser um local onde existe um grande supermercado e dar acesso as principais avenidas da cidade. Também foram indicados os cenários de inserção moderada, elevada e massiva com a alocação de 3, 6 e 10 eletropostos, respectivamente.

Quadro 01 – Síntese dos Resultados da Aplicação da Metaheurística GRASP híbrida com a dVNS

Análise para o Bairro Jardim da Penha/Mata da Praia	Cenários desenvolvidos				
	Inserção Leve	Inserção Moderada	Inserção Elevada	Inserção Massiva	
Quantidade de Eletropostos	1	3	6	10	
Ponto de alocação para a Inserção Leve	Acesso à Av. Hugo Viola pela Praça Wolghano Neto				
Ponto de alocação para a Inserção moderada	Acesso à Av. Hugo Viola pela Praça Wolghano Neto	Acesso à Av. Dante Michelini pela Av. Comandante Alvaro Martins	Praça Regina Frigeri Furno – Av. Luiz Manoel Vellozo		
Pontos de alocação para a Inserção Elevada	Acesso à Av. Hugo Viola pela Praça Wolghano Neto	Av. Alziro Zarur – Av. Des. Vicente Caetano	Praça Annibal Antero Martins – Rua Eugenílio Ramos		
	Acesso a Av. Augusto De Almeida pela Av. Adalberto Simão Nader	Acesso a Av. Dante Michelini pela Av. Adalberto Simão Nader	Praça Regina Frigeri Furno – Av. Luiz Manoel Vellozo		
Pontos de alocação para a Inserção Massiva	Acesso à Av. Hugo Viola pela Praça Wolghano Neto	R. Aristóbulo Barbosa Leão – R. Ludwik Macal	Praça Benedito Rodrigues da Cruz – R. João Hónorato	Av. Nicolau Von Schilgen – R. Benedito Melo Serrano	Av. Carlos Gomes de Sá – R. Alvin Soares Bermudes
	Av. Anísio Fernandes Coelho – Av. Francisco Generoso da Fonseca	R. Dido Fontes – Av. Luiz Manoel Vellozo	Praça Annibal Antero Martins – Rua Eugenílio Ramos	Praça Regina Frigeri Furno – Av. Luiz Manoel Vellozo	Acesso a Av. Dante Michelini pela Av. Adalberto Simão Nader

6.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, verificou-se o bom desempenho do método ao encontrar um conjunto de soluções factíveis e de boa qualidade, dentro de um número de iterações preestabelecidas durante o processamento do mesmo. Tais soluções podem ser validades ao se comparar com a pesquisa observacional realizada e o conhecimento prévio dos autores em relação ao território de estudo. Como trabalhos futuros pretende-se aplicar, no desenvolvimento da metaheurística, ajustes quanto ao tempo de recarga que cada eletroposto (lenta, semirrápida e rápida) e o fluxo variante dos veículos.

7.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (Processos do Beneficiário : 147469/2016-3).

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Energy Agency (IEA). **Key World Energy Statistics**. IEA, 2016.
- [2] International Energy Agency (IEA). **Global energy demand rose by 2.3% in 2018, its fastest pace in the last decade**. IEA, 2019.
- [3] PEREIRA, A. L.; FARDIN, J. F.; ENCARNACAO, L. F. **Electric vehicles as motivators for smart grids**. In: 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE), 2018, Niteroi. 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE), 2018
- [4] AGRIZZI, F. H. A. ; PEREIRA, A. L. . **Desenvolvimento de um método heurístico como mecanismo de apoio para a tomada de decisão Sobre a reestruturação de 2 bairros da cidade de Vitória-ES**. In: 50º SBPO, 2018, Rio de Janeiro. 50º SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2018.
- [5] EV-VOLUMES. **Global Plug-in Sales**. 2018. Disponível em: <http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>, Acesso em: Abril 2019.
- [6] MCCOOL, J. R.; MONKS, S. C. **Systems and mobile application for electric wireless charging stations**. U.S. Patent n. 9,796,280, 24 out. 2017.
- [7] Associação Brasileira do Veículo Elétrico. **Electric Mobility Brasil instala eletrovia na Dutra**. Disponível em <http://www.abve.org.br/electric-mobility-instala-eletrovia-na-dutra/>. Acesso em out. 2018.
- [8] Camillo, M. H. M et al. A. Combining Exhaustive Search and Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Service Restoration in Large-Scale Distribution Systems. *Electric Power Systems Research*, v. 134.
- [9] Franco, J. F.; Lavorato, M.; Rider, M. J.; Romero, R. (2012). An Efficient Implementation of Tabu Search in Feeder Reconfiguration of Distribution Systems. *Proceedings of the 2012 Power Engineering Society General Meeting*, pp. 01–08, San Diego, California, USA, July 22–26.
- [10] Reis, R. F.; Maciel, J. S. C.; Nóbrega, B. M. A.; Araujo Neto, C. L. (2016). *Estudo Da Mobilidade Urbana Sustentável*. Anais do II Encontro de Sustentabilidade Urbana. Campina Grande, PB.
- [11] WANG, X. et al. Coordinated Planning Strategy for Electric Vehicle Charging Stations and Coupled Traffic-Electric Networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 34, n. 1, p. 268-279, 2019.
- [12] EHSANI, M. et al. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. **CRC press**, 2018.
- [13] PELLETIER, S. et al. Battery degradation and behaviour for electric vehicles: Review and numerical analyses of several models. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 103, p. 158-187, 2017.
- [14] HANNAN, M. A. et al. Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 771-789, 2017.
- [15] RODRIGUES, M. C. B. P. **Integração de Filtro Ativo de Potência Monofásico e Bifásico ao Sistema de Propulsão de um Veículo Elétrico**. 2014. 323p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). 2014
- [16] GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- [17] COSTA, C. R. **Condução de Experimentos Computacionais com Métodos Heurísticos**. 2011. 150f. Dissertação (Mestrado em Computação), Universidade Federal de Goiás, 2011.
- [18] PEREIRA, A. L. ; APPEL, A. P. Modeling and Storing Complex Network with Graph-Tree. **Advances in Intelligent Systems and Computing**. 1ed.: Springer Berlin Heidelberg, 2013, v. 185, p. 305-315.
- [19] ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Aprovada regulamentação sobre recarga de veículos elétricos**. Acesso em Abril 2019.
- [20] RESENDE, M. G. C; RIBEIRO, C. C. GRASP: Greedy randomized adaptive search procedures. In: **Search methodologies**. Springer, Boston, MA, 2014. p. 287-312.
- [21] HANSEN, Pierre; MLADENOVIĆ, Nenad. Variable neighborhood search: Principles and applications. **European journal of operational research**, v. 130, n. 3, p. 449-467, 2001.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Adan Lucio Pereira - Obteve os títulos de Engenheiro de Computação e Mestre em Energia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em 2014 e 2016, respectivamente. Foi professor substituto no Departamento de Engenharias e Tecnologia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Atualmente é aluno de Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo, Docente na Faculdade Brasileira MULTIVIX - Vitória e Pesquisador associado à *Seven Science System*. Desenvolve pesquisas nas áreas de planejamento técnico e regulatório das redes de distribuição, *smart grids*, *microgrids* e métodos de otimização e dos sistemas de mobilidade urbana sustentável.