



**XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GET/09
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO XIV

GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO- GET

METODOLOGIA E FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA A AVALIAÇÃO DOS POSSÍVEIS CENÁRIOS, DOS IMPACTOS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

João P. N. Silva
EDP Escelsa

Lucca Zamboni
EDP Bandeirante

Vitor L. G. Gardiman
EDP Bandeirante

Marco A. P. Fredes
EDP Bandeirante

Franz H. Zamora
Sinapsis

Gabriel A. Quiroga
Sinapsis

Henrique Kagan
Sinapsis

Marcelo A. Pelegrini
Sinapsis

Jose A. B. Grimoni
USP-Instituto de Eletrotécnica e Energia

Daniel E. Carvalho
Fundação Instituto de Administração – FIA

Paulo Feldmann
Fundação Instituto de Administração – FIA

RESUMO

Esse artigo apresenta metodologia e ferramenta de avaliação dos impactos na rede de distribuição em face à presença de veículos elétricos (VE) focando na aplicação da metodologia em duas concessionárias brasileiras. Elaborou-se quatro cenários abrangendo múltiplos aspectos relacionados à presença de VEs até o ano 2020. O impacto no sistema elétrico tem origem nos carregamentos na rede, que são representados por curvas associadas a consumidores, e curvas de carregamento de baterias. Através da curva de carregamento associada a cada bateria e o local de conexão possível de cada VE, o carregamento de VEs é modelado para carregadores lentos ou rápidos.

PALAVRAS-CHAVE

Veículo elétrico, Cenários, Redes Elétricas Inteligentes, *Smart Grid*, Distribuição de Energia

1.0 - INTRODUÇÃO

A tecnologia dos veículos elétricos é visto por muitos países como um componente chave no esforço para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, e ao mesmo tempo, reduzir a dependência de petróleo importado no setor dos transportes. Como resultado, muitos fabricantes têm colocado ênfase no desenvolvimento de vários tipos de veículos elétricos. Estes incluem: veículo totalmente elétrico (VE), que operam puramente com energia da bateria e veículo elétrico híbrido plug-in (VEHP), que funcionam com energia a partir da combinação de uma bateria instalada no próprio veículo - "on-board" - e um motor a combustão. As baterias para os dois tipos de tecnologias podem ser recarregadas a partir de fontes de energia externas, por exemplo, uma rede elétrica [1].

A introdução da tecnologia de VEs não terá apenas um efeito significativo sobre o setor de transportes, mas também nos sistemas de energia elétrica. As redes de distribuição são projetadas e avaliadas para fornecer eletricidade em qualquer área, dependendo do número de clientes e do histórico de dados de demanda de eletricidade para cada um desses clientes. A implementação generalizada de VEs na frota de veículos particulares levará a um aumento significativo da energia elétrica necessária para efeitos de recarregar as baterias dos VEs. Isto introduziria novos padrões de demanda de consumidores no nível da distribuição, o que poderia causar efeitos adversos para as condições de funcionamento da rede em áreas onde grandes grupos de VEs estariam

carregando ao mesmo tempo. Tais efeitos podem incluir variações de tensão excessiva, aumento da carga térmica nos circuitos e maiores perdas na rede.

Uma elevada inserção de VEs no sistema de distribuição no futuro próximo influenciará as decisões de planejamento e operação do sistema elétrico, e as concessionárias de energia elétrica precisam de metodologias e aplicativos computacionais para auxílio ao gerenciamento de rede e verificação dos parâmetros de carregamento, perfil de tensão, desequilíbrio entre fases, perdas e por consequência decidir sobre possíveis novos investimentos. O projeto, Avaliação dos possíveis cenários, experimentação e mensuração dos impactos dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição da Bandeirante e da Escelsa, que possui o seguinte código PD-0391-0010/2011, supriu de forma plena e integral a necessidade de ferramentas capazes de atuarem na administração das incertezas causadas pela recente erupção de veículos que interagem com a rede elétrica.

O planejamento por cenários permite explorar os futuros possíveis, dessa forma a empresa pode assumir um posicionamento estratégico compatível com sua visão e valores. Com o término do projeto as empresas elétricas que deram suporte financeiro (Bandeirante e Escelsa) receberam um relatório final contendo os principais resultados obtidos podendo ser destacados os seguintes resultados: a composição de quatro cenários atrelados a um software de monitoramento do impacto de VEs na rede das áreas de concessão. As entidades executoras (PROFUTURO/FIA; IEE/USP; SINAPSIS) concluíram todas as etapas do cronograma e consideram de grande valor o conhecimento gerado através das parcerias firmadas.

2.0 - METODOLOGIA

A abordagem metodológica é abrangente e tem o objetivo de concretizar a avaliação do impacto na rede para todas as redes existentes nas áreas de concessão da EDP Bandeirante e EDP Escelsa.

2.1 Dados das Redes de Distribuição

Para avaliação do impacto do carregamento de veículos elétricos (VEs) sobre os elementos de rede específicos e sobre o sistema de distribuição em conjunto, serão modelados: suprimentos em subestações AT, linhas de subtransmissão AT (138 kV, 88 kV), transformadores das subestações AT/MT (138/13,8 kV; 88/13,8 kV), alimentadores de distribuição MT (13,8 kV), transformadores de distribuição MT/BT (13,8/0,220 kV), rede secundária BT (240 V, 120 V, 220 V, 127 V), consumidores MT e consumidores BT (estes modelados através de curvas de carga típicas [2] ou próprias).

2.2 Taxas de Crescimento

Visa aplicar na modelagem o crescimento de mercado no horizonte de planejamento (2011 – 2020). As taxas de crescimento correspondem a valores apurados por técnicas de previsão de mercado que podem considerar séries temporais em relação ao número de consumidores e energia. As taxas de crescimento expressos em valores percentuais podem ser aplicados por classe de consumidor (residencial, comercial, industrial e iluminação pública).

2.3 Dados de Veículos e Baterias

Para obtenção de informações de veículos e baterias, foram instalados três eletropostos de carga de baterias de veículos elétricos no IEE – Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP.

Um dos eletropostos é de carga rápida (até 30 minutos de carga), um de carga lenta pública (cerca de 8 horas) e um de carga lenta residencial (cerca de 8 horas). Os eletropostos de carga lenta tem 3,7 kW de potência e o de carga rápida tem 62 kW de potência. Na Figura 1 apresentam-se os eletropostos instalados.



Figura 1 - Instalação dos eletropostos no IEE.

Foram feitas recargas de veículos elétricos nos eletropostos para definir padrões de consumo deste tipo de carga elétrica móvel, permitindo assim avaliar o impacto que estas cargas provocam na rede elétrica. Os carros elétricos que fizeram carregamento nos eletropostos do IEE foram o Imiev da Mitsubishi e um Renault Zoe e Kangoo, que utilizam baterias de lítio. Na Figura 2 temos as fotos destes veículos.



Figura 2 - Veículos elétricos carregados no IEE (Imiev, Zoe e Kangoo).

As Figura 3(a) e 3(b) mostram dois exemplos de curva de corrente de carregamento rápido e lento feito no IEE.

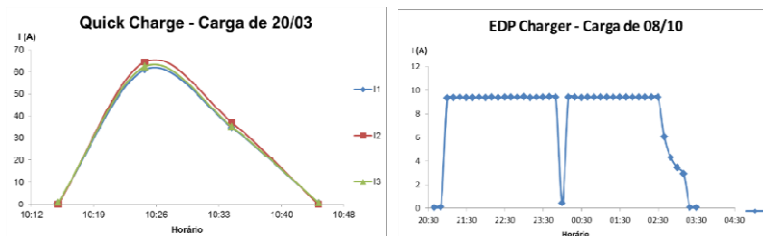


Figura 3 - Corrente durante o período de carga (a)carregador publico rápido da EFACEC (b)carregador publico lento da EDP.

Em relação às baterias que correspondem a VEs e VEHPs, para os propósitos de simulação, é importante conhecer a capacidade e o estado de carga de cada uma delas. Com o propósito de modelar as curvas de carga das baterias conforme a sua capacidade, foram consideradas inicialmente curvas teóricas [3], [4], as quais puderam ser validadas ou modificadas conforme a realização de testes em laboratório ou em campo. As curvas de carga da bateria para diferentes estados de carga (SOC) são apresentadas na Figura 4 e corresponde a uma bateria com capacidade de 24 kWh.

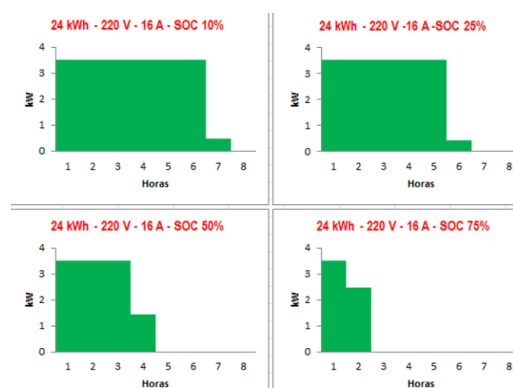


Figura 4- Curvas de Carga - Bateria de 24 kWh.

O carregamento está em função dos valores de tensão e corrente e dependem do tipo de circuito de carga utilizado, associado a cada tipo de carregador. Para efeitos de simulação e análise consideram-se os seguintes modos de carregamento: Carregamento Normal, realizado em baixa tensão, monofásico, 220 V e 16 A; e Carregamento Rápido, realizado em baixa tensão, trifásico, 400 V e 95 A.

A recarga dos VEs poderá ser efetivada através de carregadores rápidos, carregadores públicos lentos e carregadores domiciliares. Também, algumas considerações são válidas para o processo de recarga, tais como:

- i) Definir a capacidade da bateria associada a cada VE (de forma determinística ou segundo uma função de distribuição de probabilidade);
- ii) Determinar o ponto específico de conexão do VE na rede elétrica (de forma determinística ou probabilística);
- iii) Definir o tempo de conexão de cada bateria ou VE (de forma determinística ou sujeita a uma função de distribuição de probabilidade do estado de carga da bateria).

2.4 Cenários de Penetração (2010 – 2020)

Analisa-se o papel do veículo elétrico no Brasil em 2020 a partir da elaboração de quatro cenários. Na visão de Godet (1993), o cenário deve incluir a ação dos principais atores e a probabilidade estimada de eventos incertos, articulados de tal forma a descrever a passagem da situação de origem para uma situação em um momento futuro de forma coerente. Devido ao grande número de variáveis presentes no mundo real e à complexidade das suas interações, torna-se mais atraente trabalhar com várias possibilidades de futuros, ou cenários múltiplos. Assim, os cenários trabalhados foram: Solução Corporativa, Nicho Verde Chique, Meu Carrinho Elétrico e Cidade Elétrica.

Eles se diferenciam preponderantemente pelo comportamento de duas grandes variáveis: Custo total de propriedade do veículo elétrico e Conveniência de uso. A partir da relação de cada cenário com essas variáveis foi desenhada uma matriz, conforme a Figura 5.

A penetração de veículos elétricos na frota de veículos varia de acordo com o cenário. Através de uma pesquisa utilizando a metodologia Delphi obteve-se a participação de veículos elétricos novos na frota de veículos novos em 2020, com essa informação e utilizando-se o modelo de Bass (modelo utilizado para se estimar a penetração de uma nova tecnologia no mercado) foi possível traçar uma curva que informa a participação a cada ano.

Para a realização dessa estimativa também foi considerado o crescimento da frota de veículos convencionais até 2020. O conhecimento das dimensões da frota de veículos elétricos é crucial para a projeção dos demais impactos dessa nova tecnologia na organização social, econômica e ecológica do Brasil. Essa curva de penetração permite estimar a frota de VEs por cidade da área de concessão, esse estudo micro fornece informações para o planejamento da capacidade da rede de forma apurada. A Figura 5 detalha ainda as taxas de penetração apresentadas na tabela anterior, para cada cenário prospectivo desenvolvido.

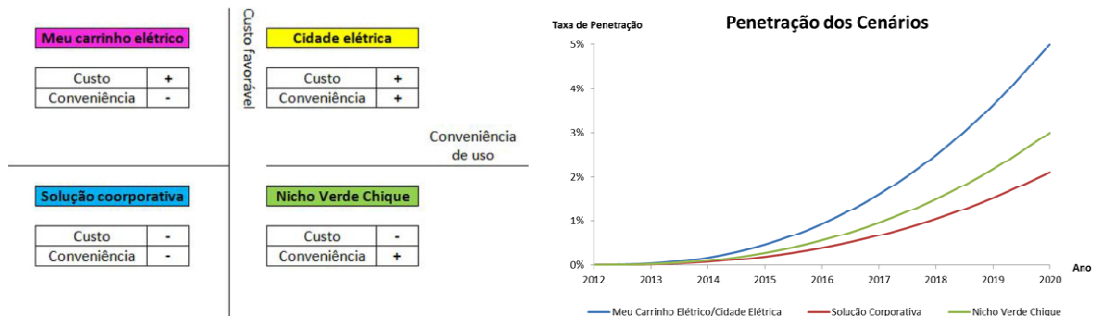


Figura 5 - Cenários e Taxas de Penetração (2012 – 2020).

2.5 Algoritmos de Alocação de VEs

A modelagem da alocação de VEs em cargas residenciais presentes nas redes de estudo levou em conta premissas probabilísticas. Nesta abordagem os VEs são alocados segundo probabilidades associadas a cada possível usuário conforme seu consumo energético, para que clientes com consumo elevado sejam candidatos favoritos a aquisição e conexão de VEs à rede.

Para as atribuições dos tipos de bateria de cada VE, do estado de carga das baterias, da modelagem da hora de início de carga e da duração da carga, são utilizadas funções de distribuição de probabilidade baseadas na curva de carga dos consumidores. Estas, por sua vez, em conjunto com a distância percorrida e a capacidade das baterias, permitiram o cálculo da necessidade energética diária média para os veículos elétricos alocados. Ademais, são utilizados fatores que visam modelar o comportamento dos usuários, como os fatores de hábito e coincidência, os quais definem a frequência e a probabilidade de uso concomitante da rede, respectivamente, para que ao alocar as cargas ao longo do tempo, consiga-se avaliar o impacto destas novas cargas no dia de maior impacto, ou dia de projeto.

Por fim, os algoritmos de avaliação dos impactos e limites das redes consideram o nível de penetração de VEs no sistema de distribuição, obtidos junto aos cenários desenvolvidos ou a penetração massiva, através do cálculo do fluxo de potência. A Figura 6 ilustra a alocação das cargas ao longo do tempo e a definição do dia de projeto.

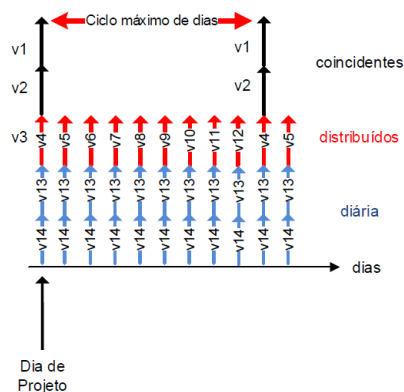


Figura 6 - Cargas alocadas probabilisticamente no tempo.

2.6 Tipos de Carregamento na Rede

A metodologia desenvolvida conta com três formas de carregamento de veículos elétricos distintas, as quais podem ser descritas como carregamento sem controle [5], carregamento considerando-se uma tarifa dual [6] e o carregamento inteligente [5].

O carregamento sem controle possui predominância de conexão nos horários de ponta, os quais inspiram cuidados com a capacidade disponível nos alimentadores e transformadores SDMT/SDBT, que podem ser ultrapassadas nestes horários.

A demanda gerada pelo carregamento das baterias dos VEs pode ser ditada pela estrutura tarifária de energia elétrica, por isso uma estrutura tarifária que oferta ao consumidor uma tarifa diferenciada, pode definir uma mudança nos hábitos de uso do sistema de distribuição. Assim, como a existência de uma tarifa única e respectivos hábitos de uso (horário de chegada a casa) propicia a conexão de VEs para sua recarga na hora da ponta, os incentivos para a conexão de VE fora da hora de ponta estão associados a preços diferenciados do custo de energia nos postos tarifários fora da hora da ponta e na hora da ponta. Por isso, o carregamento considerando uma tarifa dual simula esta mudança de comportamento dos consumidores, os quais demonstram preferência no abastecimento de VEs no posto tarifário fora da hora de ponta. Por último, o carregamento inteligente [5] foi desenvolvido visando o melhor uso e controle possível da rede de distribuição, para que as cargas adicionais de VEs impactassem o mínimo possível. A Figura 7 mostra a energia demandada pelos VEs, segundo os diferentes tipos de carregamento, para o cenário Cidade Elétrica, no ano de 2020 na Subestação VVE (Vila Velha – EDP Escelsa).

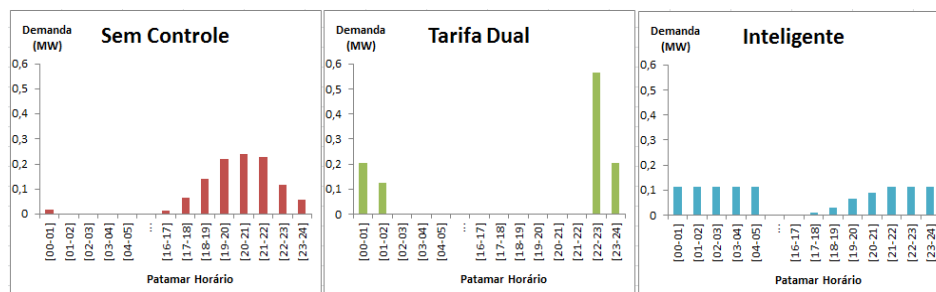


Figura 7- Curva de carga agregada de um alimentador.

2.7 Avaliação do Impacto na Rede

A metodologia para avaliação do impacto na rede prevê o cálculo do fluxo de potência para 24 patamares horários, para avaliar o impacto na rede de distribuição. O impacto nas redes de distribuição é determinado através do diagnóstico dos elementos de rede e o acompanhamento sistemático do carregamento nos alimentadores, transformadores de distribuição e redes secundárias, além de verificar os valores do perfil de tensão e perdas. É possível, também, a obtenção de curvas de carga agregadas em pontos chave da rede elétrica e a realização de uma análise do impacto para um horizonte de previsão desejado. O simulador implementado, ilustrado na Figura 8, pode avaliar os impactos técnicos na rede de distribuição para três possíveis formas de simulação e de consideração da penetração de VEs, definida como o percentual do total de cargas candidatas que poderão ter um acréscimo de demanda em função do carregamento de baterias. As simulações podem ser realizadas para cenários prospectivos de penetração, penetração definida ou estresse, onde se determinam os limites técnicos da rede para se encontrar a penetração máxima suportada pela rede.

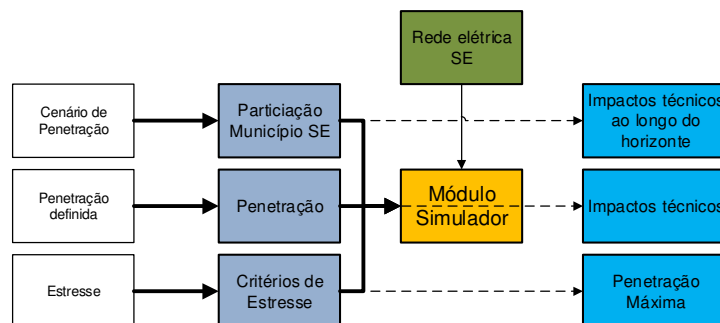


Figura 8- Alternativas de Simulação do Impacto de VE.

2.8 Alocação Espacial de Eletropostos

Para representar a realidade das possibilidades de carregamento de VEs, a metodologia contempla a alocação espacial de eletropostos. Para tanto, são utilizadas técnicas de agrupamento de cargas em clusters para

distribuição de eletropostos públicos de carga lenta, rápida e mistos. O dimensionamento dos eletropostos nas respectivas redes existentes nos municípios da área de concessão de cada concessionária foi realizada considerando a demanda de cada agrupamento. A Figura 9 ilustra a aplicação da metodologia da alocação espacial de eletropostos.

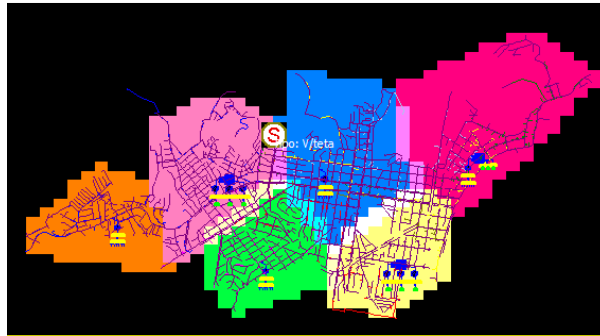


Figura 9- Agrupamentos de Cargas e Eletropostos alocados à rede.

A plataforma de simulação escolhida denomina-se SinapGrid a qual se caracteriza por disponibilizar uma série de funções para análise de rede, permitindo, também, o desenvolvimento e inclusão de módulos novos de forma transparente. Dentre as principais características da plataforma de simulação para apoio à avaliação do impacto na rede ante a presença de VEs, têm-se:

- i) Representação integrada de todos os níveis de tensão da rede de distribuição (alta, média e baixa);
- ii) Editor de rede amigável que permite a representação de todos os componentes da rede (barras, linhas, cargas, patamares ao longo do dia, banco de capacitores, reguladores de tensão, transformadores de 2 ou 3 enrolamentos, geradores fotovoltaicos, veículos elétricos, eletropostos, etc.) por meio de diagramas esquemáticos ou por meio de diagramas georreferenciados;
- iii) Módulos de cálculo de fluxo de potência, para rede balanceadas ou desbalanceadas, capazes de resolver redes radiais ou em malha, por diversos métodos (Gauss, Newton-Raphson);
- iv) Algoritmos Determinísticos e Probabilísticos de alocação de VEs.
- v) Algoritmos para avaliar a conexão descontrolada, o uso da tarifa dual e o controle inteligente.
- vi) Algoritmos para avaliação do carregamento, perfil de tensão, desequilíbrio de tensão e perdas, seguindo as recomendações do PRODIST [7].
- vii) Apresentação gráfica de relatórios que comparam os níveis de penetração de VEs e seu impacto na rede, com ênfase nos parâmetros de carregamento, perfil de tensão e perdas.

3.0 - ESTUDO DE CASO

O estudo de caso realizado como prova de conceito envolveu a inclusão de veículos elétricos em redes reais da EDP Escelsa e EDP Bandeirantes. As redes MT e BT utilizadas foram obtidas dos sistemas georreferenciados das respectivas concessionárias. O ambiente de simulação, no estudo de caso, foi constituído pelas redes de distribuição VVE (Circuitos da SE Vila Velha) e SJC (Circuitos da SE São José dos Campos). Na Figura 10 é apresentado o cenário prospectivo Cidade Elétrica (CEL) e o respectivo número de VE que devem ser alocados em cada município no ano de 2020.

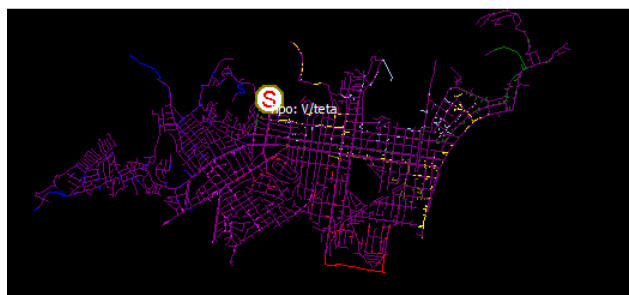


Figura 10- Redes da SE Vila Velha.

O impacto nas redes de distribuição foi avaliado em função da análise dos elementos constituintes da rede elétrica, conforme os segmentos que definem a topologia de uma rede de distribuição de energia elétrica e de forma global em pontos importantes da rede. Os aspectos a serem avaliados envolvem: determinação do carregamento, perfil de tensão e perdas.

A Figura 11(a) ilustra a simulação realizada no módulo desenvolvido na plataforma de simulação SINAPGrid, para cada cenário em 2020, mostrando o percentual adicional de barras que violam os limites de tensão precários ou críticos, devido à penetração de veículos elétricos. A Figura 11(b) ilustra a penetração de veículos elétricos prevista pelos cenários FIA 2020 em comparação com o limite suportado pela rede, obtido através das simulações de estresse para a mesma rede VVE.



Figura 11 – (a) Percentual adicional de barras violadas. (b) Penetração de veículos elétricos: Prevista pelos cenários FIA 2020 e limite suportado pela rede.

Apenas para ilustrar os limites de penetração para a alocação de VEs considerando as três formas de controle de carregamento (desordenado, tarifa dual e inteligente), na Figura 12 apresentam-se os limites suportados pela rede VVE, para o cenário de penetração Cidade Elétrica, dado os três diferentes tipos de controle de carregamento.

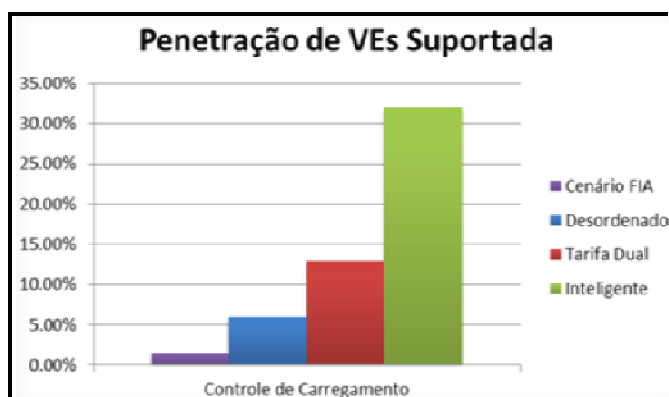


Figura 12- Limites suportados pela rede dado os três diferentes tipos de controle de carregamento.

Para que se possa observar melhor o impacto da alocação dos veículos elétricos na rede de distribuição, são destacados os trechos e barras do sistema que violam os limites de carregamento e variação de tensão, precários (amarelo) e críticos (vermelho). No horizonte de análise 2013 - 2020 para o Cenário Cidade Elétrica, tem-se a previsão que 406 VEs estarão conectados nas redes da SE Vila Velha, até 2020. Assim, os resultados da alocação e impacto na rede são mostrados graficamente nas Figura 13(a) e (b).

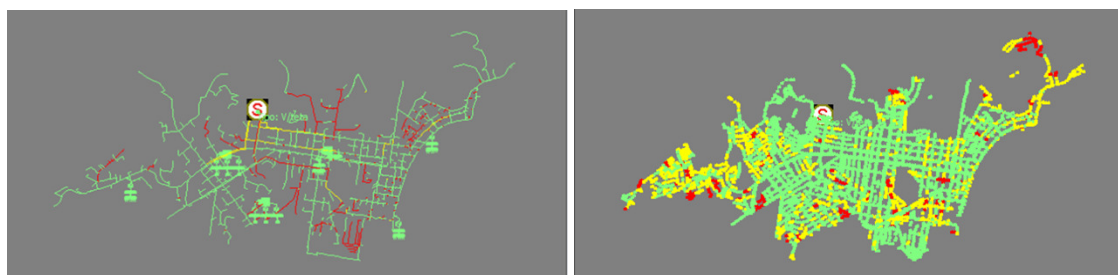


Figura 13 – Impactos na rede em 2020 com VE (a) Carregamento em MT (b) Barras em BT em 2020.

Além disto, a ferramenta computacional desenvolvida gera, também, uma série de relatórios que permitem obter análises mais detalhadas dos impactos, por subestação, por alimentador e até por rede secundária. A figura 15 mostra o percentual de barras e trechos do alimentador VVE05, para o cenário Cidade Elétrica 2020, que se encontram bons, precários e críticos segundo [8].

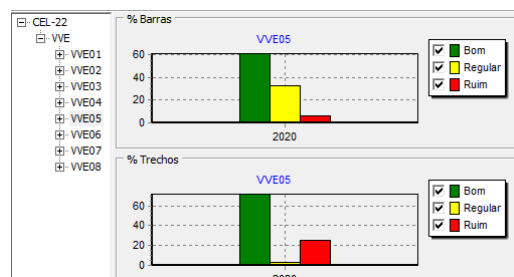


Figura 14- Relatório gráfico para o alimentador VVE05

4.0 - CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma metodologia para avaliação do impacto, em redes de distribuição, causados pela penetração de veículos elétricos e a ferramenta desenvolvida para experimentação da própria metodologia. Através de simulações em redes reais foi possível avaliar o impacto nos diferentes elementos constituintes da rede elétrica: transformadores de subestações SDAT/SDMT, redes SDMT, transformadores de distribuição SDMT/SDBT e redes SDBT. Assim, aspectos como diagnósticos, carregamento de trechos, perfil de tensão e perdas. Além disto, pode-se analisar o quanto e onde estes impactos ocorreram e até quais são os limites de penetração de cada rede, gerando-se relatórios importantes para o planejamento do sistema de distribuição. Acho que seria legal dizer que o modelo desenvolvido permitiu estudar variáveis que se mostraram importantes como o controle do carregamento, mix de veículos e fatores de hábito e que a ferramenta possibilita uma série de avaliações e explorações sob estes aspectos. Os autores agradecem à EDP Bandeirante e EDP Escelsa pelos dados e informações disponibilizadas para execução das respectivas simulações com redes reais e à ANEEL pela oportunidade de publicação e divulgação de alguns resultados deste projeto.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Richardson, J. Taylor, D. Flynn, A. Keanne. Stochastic Analysis of The Impact of Electric Vehicles on Distribution Networks. CIRED 21st. International Conference on Electricity Distribution. Frankfurt, 6-9 June, 2011. Paper 1158.
- [2] N. Kagan, C. C. B. Oliveira, E. J. Robba. Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Editora Edgar Blucher. São Paulo. 2005.
- [3] J. Taylor, A. Maitra, M. Alexander, D. Brooks, M. Duvall. Evaluation of The Impact of Plug-in Electric Vehicle Loading on Distribution System Operations.
- [4] K. Qian, C. Zhou, M. Allan, Y. Yuan. Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 26, No. 2, 2011.
- [5] J. A. P. Lopes, F. J. Soares, P. R. M. Almeida. Integration of Electric Vehicles in the Electric Power Systems. Proceedings of the IEEE, Vol. 99, No. 1, January 2011.
- [6] ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica. Sinal Econômico para a Baixa Tensão. Nota Técnica N° 362/2010-SER-SRD/ANEEL. Brasília 6 de Dezembro de 2010.
- [7] ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica –Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição. Resolução Normativa N° 465/2011.
- [8] ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica –Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



M. A. Pelegrini (marcelo.pelegrini@sinapsisenergia.com), F. H. Pereyra Zamora (franz.zamora@sinapsisenergia.com), G. A. Quiroga (gabriel.quiroga@sinapsisenergia.com), H. Kagan (henrique.kagan@sinapsisenergia.com) e, são atualmente pesquisadores da Sinapsis Inovação em Energia.

L. Zamboni (lucca.zamboni@edpbr.com.br), V. L. G. Gardiman, M. Gavazzi e J. P. Niggli Silva trabalham na EDP Bandeirante.

M. A. P. Fredes (marco.fredes@edpbr.com.br) e C. A. M. Gonçalves trabalham na EDP Escelsa.

J. A. B. Grimoni (aquiles@pea.usp.br) trabalha na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

A. A. Amedomar, D. E. Carvalho, L. E. Sampaio e P. R. Feldmann (feldmann@usp.br) trabalham na Universidade de São Paulo.