



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GET/33
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO -XIV

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

RENOVÁVEIS, SMART GRIDS E CARROS ELÉTRICOS: UMA ESTRUTURA ECONÔMICA SUSTENTÁVEL

Leontina Pinto (*)
ENGENHO Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda.

RESUMO

Este trabalho propõe um arcabouço comercial e regulatório para o planejamento, a gestão e a regulação do sistema e do mercado futuros, considerando a inclusão dos novos paradigmas: a geração renovável, os carros elétricos, a gestão da demanda pelo consumidor e as opções de gestão das redes inteligentes no sistema brasileiro. Nossa meta vai além do atual conceito de “smartmetering”, já em implantação bem sucedida em algumas cidades brasileiras. Desejamos ampliar os horizontes, de modo a alcançar o real conceito dos smart grids como um organismo vivo, formado pela rede, geradores e consumidores, que se conhecem e adaptam harmoniosamente visando o bem estar comum.

PALAVRAS-CHAVE

Smart grids, Geração distribuída, Usinas virtuais, Regulação, Redes do futuro

1.0 - INTRODUÇÃO

O setor elétrico evolui. Vivenciamos hoje a entrada de novas fontes de energia e a formação de um novo consumidor, com novas necessidades e um controle nunca experimentado sobre sua demanda.

Por sua vez, os carros elétricos ganham em eficiência e aceitação. Espera-se um crescimento rápido e continuado desta nova modalidade de consumo, que deve produzir efeitos importantes em toda a rede elétrica. Sabe-se que um carro elétrico pode atuar como consumidor (retirando energia elétrica da rede para carregar suas baterias) ou mesmo vendedor (injetando a energia armazenada na rede, e auferindo ganhos em momentos de necessidade do sistema). O duplo papel do carro elétrico torna o desenho de sua precificação bastante interessante: pode fazer o papel de uma usina reversível, acumulando energia quando esta é mais abundante e devolvendo-a nos momentos mais críticos.

Finalmente, o conceito de redes inteligentes (smart grids) vem ganhando terreno. Muitas empresas possuem protótipos que se transformam, pouco a pouco, em instrumentos rotineiros de monitoração e controle. É tempo de preparar o sistema e o mercado para este futuro cada vez mais próximo, antes que ele chegue e nos encontre ainda despreparados para a nova realidade.

O objetivo deste trabalho é propor um arcabouço para o planejamento, a gestão e a regulação do sistema e do mercado futuros, considerando a inclusão dos novos paradigmas: a geração renovável, os carros elétricos, a gestão da demanda pelo consumidor e as opções de gestão das redes inteligentes no sistema brasileiro. Nosso objetivo final é chegar ao paradigma – já implementado em outros países [1] – que transforma cada consumidor em usina virtual.

2.0 - CONCEITOS BÁSICOS

As redes inteligentes são uma tendência mundial irreversível, que chegará ao Brasil em um futuro – esperamos – não muito longínquo. Uma de suas funções mais importantes *não é* – como pode ser intuitivo – a sua adaptação à demanda. Ao contrário, uma rede inteligente deverá saber detectar o excesso ou a falta de recursos, transmitir ao consumidor o panorama correto e – se possível – induzi-lo a economizar energia quando necessário.

Uma das maiores vantagens da geração distribuída (aqui incluídos os carros elétricos) é justamente a possibilidade da aplicação do conceito de “usinas virtuais” [2-4] – onde cada casa, cada veículo pode ser visto como um “reservatório de energia”, que interage com a rede, regulando a oferta e a demanda de acordo com as necessidades. Por exemplo, uma residência pode “estocar” energia solar quando disponível (durante o dia) e utilizá-la à noite, quando os moradores retornam a seus lares e o consumo aumenta. Veículos elétricos, por sua vez, podem ser vistos como “reservatórios de energia móveis”, abrindo a possibilidade de carregar suas baterias em locais onde a oferta é maior (por exemplo, em regiões onde as redes são menos sobrecarregadas) e “injetar” energia na rede em regiões mais carentes, onde a rede encontra-se próxima a seus limites.

Nesta nova realidade, consumidores transformam-se em fornecedores, e será necessária uma gestão segura e confiável, capaz de sinalizar a estes novos agentes as necessidades do sistema – por exemplo, através de preços ou custos marginais. A resposta do consumidor pode ser discricionária – a partir de decisões caso a caso e momento a momento – ou automática, através de esquemas especiais previamente contratados ou autorizados.

Este trabalho discute e modela estes esquemas de preços e as possíveis interações entre o consumidor e a rede.

3.0 - O CONSUMIDOR DO FUTURO

3.1 As usinas virtuais

O conceito de usinas virtuais muda completamente o paradigma da divisão de papéis entre o gerador e o consumidor. Com a geração distribuída e os carros elétricos, cada consumidor passa a atuar também como gerador; sua interação com a rede passa a ser não apenas a *retirada* mas a *troca* de energia. A rede, por sua vez, deixa de ser um meio de entrega de energia ao consumidor para ser o meio de ajuste às suas necessidades, amoldando-se às injeções e retiradas em cada ponto e otimizando todo o processo.

Esta contínua adaptação – pode-se mesmo dizer esta contínua simbiose – requer um modelo de gestão, adequado às novas necessidades. O modelo aqui proposto leva em conta a automatização da rede e a efetiva participação do consumidor.

3.2 A gestão da rede inteligente

O novo consumidor deixa de ser passivo para ser um agente ativo – cada um corresponde a uma usina virtual (uma unidade de geração/consumo, correspondente por exemplo a cada casa ou carro elétrico) comunica-se com o despacho central da rede. O despacho, por sua vez, deverá avaliar os requisitos de oferta e demanda e a configuração disponível para atendê-los. A partir desta avaliação, o “gestor virtual” calcula os sinais a serem enviados a cada unidade, incentivando-os a ajustar seu perfil de consumo (aumentando ou reduzindo-o) de modo a otimizar o desempenho global do sistema e proporcionando a todos uma atuação segura e harmoniosa.

O objetivo deste trabalho será derivar o ferramental matemático que permita ao gestor virtual regular as diversas unidades virtuais. Como sempre, um modelo baseado no mercado de energia deverá basear-se na sinalização oferecida pelos custos marginais de operação e expansão.

4.0 - O MODELO BÁSICO DE GESTÃO

4.1 A gestão participativa

O novo modelo de gestão é participativo. A rede “conversa” com o consumidor, “informando-o”, sobre as consequências de sua atuação (geração ou carga) ao sistema global, premiando-o ou penalizando-o de acordo com seu impacto à “comunidade”. É importante observar que este impacto depende de variáveis incertas, já que associadas a recursos climatológicos (ventos, radiação solar, disponibilidade hidrológica).

4.2 A tomada de decisão

Embora o sistema brasileiro seja razoavelmente robusto, graças a seus reservatórios, esta capacidade vem se reduzindo gradativamente face às necessidades da carga. Além disso, nossos recursos de atendimento à ponta mostram-se cada vez mais escassos. A sinalização ao consumidor, até agora atualizada semanalmente, deverá ser realizada com frequência cada vez maior.

Por seu lado, é possível que o novo agente não deseje – ou mesmo não consiga – acompanhar a evolução dos sinais de impacto ao sistema, idealmente enviados ao longo do dia, com intervalos horários ou mesmo menores (a cada cinco, dez minutos). Será interessante o desenvolvimento de esquemas que permitam uma interação automática, que “aja pelo agente” sem que este necessite preocupar-se constantemente com a implementação de suas decisões. Para tanto, é possível imaginar várias possibilidades regulatórias, como

- a construção de “planos” de geração/consumo, com preços (de compra e venda) esperados para o intervalo de tempo pactuado e o nível de “stress” antecipado para o sistema – por exemplo, os preços de compra/venda a cada hora do dia ao longo do próximo ano
- a construção de ações automatizadas para cada perfil de agente (por exemplo, sensores automáticos ligam/desligam a carga/descarga de carros elétricos em horários fora da ponta/ponta a preços calculados de acordo com as necessidades do sistema)

5.0 - A MODELAGEM MATEMÁTICA

5.1 O despacho ótimo

O despacho ótimo consiste na minimização de uma função objetivo (econômica ou não) ao longo de um horizonte de estudos, sujeita a restrições operativas para cada possível cenário (representando as possíveis demandas, gerações, configurações, etc.). O problema geral pode ser escrito como

$$\begin{aligned} \text{Min } & E(c(x^s)) \\ \text{s/a } & A(x^s) = d^s \\ & F(x^s) = q^s \\ & H(x^s) > l^s \end{aligned} \quad (1)$$

onde x^s são as variáveis operativas para o cenário s e $E(c(x^s))$ é o valor esperado da função objetivo escolhida ao longo do horizonte desejado. Como anteriormente comentado, a função objetivo é geral e pode representar os custos de operação, emissões ou uma combinação de ambas. [5]

Para cada cenário s ,

$A(x^s)=d^s$ corresponde ao atendimento à demanda. As incertezas associadas incluem a geração intermitente e o consumo convencional (residencial, comercial, industrial, etc.). Veículos elétricos são modelados pelo moderno esquema “vehicle to grid” (V2G), onde períodos de carga/descarga correspondem ao ciclo consumo/geração).

$F(x)=q^s$ correspondem às restrições do sistema (por exemplo, balanços energéticos, loadflows, etc.). A modelagem é geral e pode ser desenvolvida de acordo com o grau de detalhe e precisão desejados.

$H(x)>l^s$ representam os limites em equipamentos, geração e cargas, incluindo a variabilidade estocástica associada ao clima (velocidades de ventos, disponibilidades hidrológicas, radiação solar, etc.).

É interessante observar que o despacho não é “miope”, e visa mais que as necessidades instantâneas. À medida que as tecnologias de armazenamento (storage) sejam mais desenvolvidas, será possível incluí-las no modelo, seguindo o mesmo esquema dos reservatórios hidroelétricos.

5.2 Precificação e custos marginais

As sensibilidades do sistema a variações na demanda são dadas pelos custos marginais locais π_d em cada barra i

$$\bar{\pi}_d(i) = \sum_s p_s \left(\frac{\partial(E(c(x^s)))}{\partial(d^s(i))} \right) \quad (2)$$

onde

$\bar{\pi}_d(i)$ é a sensibilidade esperada da função objetivo a variações nas demandas da barra i ao longo dos possíveis cenários de operação s .

p_s é a probabilidade do cenário s

$\pi_d^s(i)$ é dado por

$$\pi_d^s(i) = \frac{\partial(E(c(x^s)))}{\partial(d^s(i))} \quad (3)$$

e corresponde à sensibilidade (multiplicador dual) locacional da função objetivo associada à barra i para o cenário s

Vale lembrar que a geração é equivalente a uma carga negativa. Sensibilidades ao aumento da geração equivalem portanto ao negativo das sensibilidades ao aumento da carga

$$\pi_g^s = -\pi_d^s \quad (4)$$

Os custos marginais (econômicos ou não) são locais, e podem assim ser aplicados especificamente a cada agente ou modalidade de consumo. Eles são utilizados como “drivers”, induzindo o aumento da oferta ou a redução da demanda sempre que necessário. Evidentemente, esta indução só será efetiva se claramente percebida pelos agentes – e se estes tomarem as ações correspondentes.

6.0 - INSERÇÃO DOS CARROS ELÉTRICOS

6.1 Características especiais

Como previamente discutido, veículos elétricos podem ser vistos como uma carga adicional ou como uma geração (disponibilizando a energia estocada em suas baterias à rede). Podem portanto ser considerados usinas virtuais móveis e atuar como um recurso inestimável: energia “transportável” sem a necessidade de redes de distribuição ou transmissão.

A gestão eficiente de carros elétricos requer o conhecimento das necessidades e hábitos de seus proprietários. Ressaltando a necessidade de validação com informações brasileiras (atuais e futuras), podemos tomar como base a referência [6], que busca tipificar a utilização de um carro elétrico. Estes estudos mostram que os carros elétricos destinam-se normalmente ao transporte residência/local de trabalho, e a circulação não costuma superar duas horas diárias. Os usuários tendem a carregar seus veículos em casa, de modo a garantir que estejam prontos para a próxima jornada de trabalho.

No entanto, do ponto de vista da rede, este é o pior momento para a carga dos veículos. A Figura 1 mostra a curva de carga típica diária no Brasil: o pico corresponde justamente quando a população regressa a suas casas, no período de 19-22h. Carregar um carro elétrico na ponta pode trazer uma demanda adicional indesejável, do ponto de vista de segurança e mesmo de suprimento.

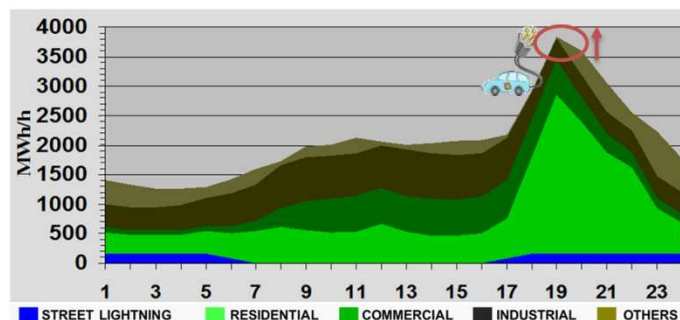


FIGURA 1 – Curva típica diária brasileira

É necessário atenuar os efeitos do aumento da demanda máxima. Ao contrário, desejamos ampliar ao máximo o efeito regulador que pode ser oferecido pelas baterias. Para isso, será necessária a implementação de modelos regulatórios especiais, aliados a sensores e chaves automáticas capazes de ligar/desligar a carga/descarga dos veículos de acordo com as necessidades e possibilidades da rede.

6.2 A gestão dos veículos elétricos através de mecanismos de preços

6.2.1 A carga/descarga do ponto de vista sistêmico

O processo de carga e descarga depende de vários fatores, incluindo o tipo/especificação da bateria, seu estado (carga remanescente) e o carregador (tensão, características elétricas). Sem perda de generalidade ou precisão, este relatório descreve a gestão da e precificação sob o ponto de vista regulatório e sistêmico. Modelagens mais detalhadas do processo elétrico de carga/descarga podem ser encontradas por exemplo em [7].

6.2.2 Conciliando necessidades dos veículos e da rede

Do ponto de vista do sistema, os sinais para o estímulo/contenção dos ciclos de carga/descarga correspondem aos custos marginais locais calculados em (2). Os carros “inteligentes” deverão receber estes sinais da rede e iniciar seus ciclos de acordo com as informações recebidas [8], preferencialmente de forma automática e independente – afinal, poucos usuários estariam dispostos a acordar de madrugada (período de preços mais baixos) para carregar seus veículos.

6.2.3 A gestão ótima do ponto de vista do agente

A aplicação de sinais de preços à gestão de veículos elétricos é intuitiva, e tem sido analisada na literatura especializada [9-11]. Nosso modelo segue a mesma intuição, mas focaliza a realidade do ponto de vista do sistema e do agente. Afinal, se o consumidor não seguirá a sinalização dos preços, a menos que os perceba como os indicadores do caminho para a otimização de seus ganhos (ou minimização de seus gastos).

Do ponto de vista do proprietário do veículo, o objetivo será a minimização do custo da carga – e, claro, a maximização da “venda” da energia quando possível. Este problema pode ser escrito como

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T (\delta_t \bar{\pi}_d(i, t) E_c(t)) - (\gamma_t \bar{\pi}_d(i, t) E_d(t)) \quad (5)$$

onde

E_c e E_d são a energia requerida para a carga/descarga no instante t ,

T é o instante final do horizonte de tempo considerado (em nosso modelo, equivalente à hora 24, a última do dia)

δ_t e γ_t são flags binários tais que

$$\delta_t = \begin{cases} 1, & \text{se o veículo está carregando no instante } t \\ 0, & \text{se o veículo não está carregando no instante } t \end{cases}$$

$$\gamma_t = \begin{cases} 1, & \text{se o veículo está injetando potência na rede no instante } t \\ 0, & \text{se o veículo não está injetando potência na rede no instante } t \end{cases}$$

Como o veículo não pode carregar e descarregar ao mesmo tempo, apenas um flag pode ser ligado:

$$\delta_t + \gamma_t = 1 \quad (6)$$

O processo de carregamento requer uma duração mínima de tempo τ_c

$$\sum_{t=1}^T \delta_t = \tau_c \quad (7)$$

Será necessário determinar o momento inicial e final do carregamento Δ_t^i e Δ_t^f tal que

$$\delta_t = \sum_{t=1}^T (\Delta_t^i - \Delta_t^f) \quad (8)$$

onde

$$\begin{cases} \Delta_t^i = 1, & \text{se a carga inicia – se no instante } t \\ \Delta_t^i = 0, & \text{se a carga não se inicia no instante } t \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta_t^f = 1, & \text{se a carga termina no instante } t \\ \Delta_t^f = 0, & \text{se a carga não termina no instante } t \end{cases}$$

Os momentos inicial e final da carga são únicos

$$\sum_{t=1}^T \Delta_t^i = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{t=1}^T \Delta_t^f = 1 \quad (10)$$

A mesma modelagem pode ser aplicada aos requisitos de descarga, admitindo sua duração mínima igual a τ_d

$$\sum_{t=1}^T \gamma_t = \tau_d \quad (11)$$

Será necessário determinar o momento inicial e final da carga Λ_t^i and Λ_t^f tal que

$$\gamma_t = \sum_{t=1}^T (\Lambda_t^i - \Lambda_t^f) \quad (12)$$

onde

$$\begin{cases} \Lambda_t^i = 1, & \text{se a carga inicia – se no instante } t \\ \Lambda_t^i = 0, & \text{se a carga não se inicia no instante } t \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Lambda_t^f = 1, & \text{se a carga termina no instante } t \\ \Lambda_t^f = 0, & \text{se a carga não termina no instante } t \end{cases}$$

Os momentos inicial e final são também únicos

$$\sum_{t=1}^T \Lambda_t^i = 1 \quad (13)$$

$$\sum_{t=1}^T \Lambda_t^f = 1 \quad (14)$$

7.0 - A RESPOSTA DO CONSUMIDOR AOS PREÇOS

7.1 A estabilidade dos sinais de preços

A princípio, se os sinais são corretos, os consumidores serão direcionados à melhor utilização dos recursos disponíveis, assegurando um atendimento econômico e confiável da demanda. Entretanto, é preciso um cuidado especial com a estabilidade do processo. Assim que os consumidores seguem os sinais de preços e ajustam sua atuação. Por exemplo, o deslocamento de carga do “pico” da curva de consumo pode gerar um novo “pico”, gerando oscilações de incentivo/desincentivo que podem confundir o agente e gerar atuações erráticas.

Este problema pode ser evitado através de uma modelagem evolucionária descrita a seguir, capaz de representar a interação preços/respostas, caracterizando o elo sistema/agente e garantindo a convergência e a estabilização dos sinais.

7.2 O ajuste dinâmico dos custos marginais

Uma forma de prevenir a instabilidade dos sinais de preços é exigir que os sinais de preços de ponta (pico) sejam maiores que os fora de ponta. Os preços, como percebidos pelos agentes, passam a obedecer à restrição

$$\pi_d^*(i, t) = \text{Min}\{\bar{\pi}_d(i, t), \bar{\pi}_d(i, t')\} \quad (15)$$

onde t' é o intervalo de ponta.

A equação (5) será atualizada correspondentemente

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T (\delta_t \pi_d^*(i, t) E_c(t)) - (\gamma_t \pi_d^*(i, t) E_d(t)) \quad (16)$$

8.0 - CASO ESTUDO

8.1 Premissas básicas

O objetivo deste estudo é a análise do desempenho do mecanismo regulatório proposto quando aplicado ao mercado e sistemas de energia brasileiros. Focalizamos o ano de 2020, tomando a configuração do sistema, incluindo geradores e cargas, do plano de expansão da EPE [10].

Consideraremos a projeção atual de inserção de seis milhões de veículos à frota nacional [11]. Baseados no consumo típico [4] igual a 3MWh/ano, a demanda total agregada corresponderá a 18000GWano – aproximadamente 2.75% do total de consumo projetado para o país (656000 GWano [10]). Assumiremos ainda que todos os veículos serão inteligentes – isto é, ao conectar seu veículo à rede, o usuário permitirá que a carga e descarga seja controlada pelo sistema inteligente.

8.2 Simulação

Seguiremos o atual esquema de precificação semanal em uso no setor. O estudo cobrirá um horizonte de 24 semanas, calculando a evolução de preços resultante do esquema regulatório proposto, através dos seguintes passos:

Para cada semana

1. Estimativa dos cenários futuros de geração demanda
2. Para cada cenário
 - cálculo do despacho ótimo (1), custos marginais (2) e correspondentes preços de carga/descarga (13)
 - cálculo da carga/descarga ótima dos veículos de acordo com a função do consumidor (4-14)
3. Volta ao passo 1, e avanço à próxima semana

8.2.1 Primeiro estudo: cenário fixo

O primeiro estudo analisa a estabilidade dos preços – requisito fundamental para qualquer modelo regulatório. O objetivo é observar se o mecanismo proposto será eficiente o suficiente para induzir os consumidores a um nível de preços estável e econômico, satisfatório aos consumidores. Esta análise só pode ser conclusiva se a variabilidade associada às flutuações e incertezas for eliminada. Por isso, usaremos um cenário único e fixo, associado a gerações e demandas médias, onde os custos marginais de ponta são iguais a R\$842/MWh.

A Figura 2 apresenta a evolução dos preços de ponta ao longo do tempo. É possível observar que as redes inteligentes aprendem com rapidez: os preços estabilizam-se em aproximadamente um mês. A redução expressiva (40% do valor final) deve-se às características do sistema brasileiro, onde pequenas variações no balanço geração/demanda podem causar impactos significativos no despacho térmico: o desligamento das unidades mais caras (óleo, por exemplo), causa uma queda expressiva nos custos marginais do sistema.

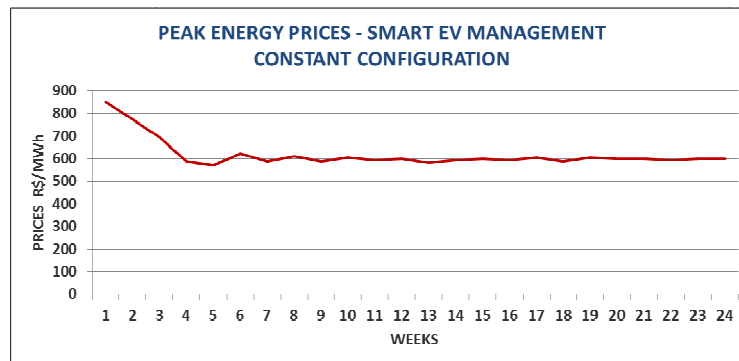


FIGURA2 – Modelo regulatório para a gestão de veículos elétricos – estabilização dos preços de ponta

8.2.2 Segundo estudo: a incorporação das incertezas

O segundo estudo incorpora as incertezas do mundo real. Seguindo o atual modelo setorial, tomaremos apenas as incertezas climatológicas (hidroelétricas e eólicas). O modelo entretanto é geral e pode acomodar quaisquer variações possíveis em cargas, expansão, etc.

A Figura 3 apresenta a evolução dos preços de ponta com a “ajuda” da gestão dos veículos elétricos. É interessante notar como a carga/descarga nos momentos certos pode ser importante para a estabilização e efetiva redução de preços (uma economia de 25%).

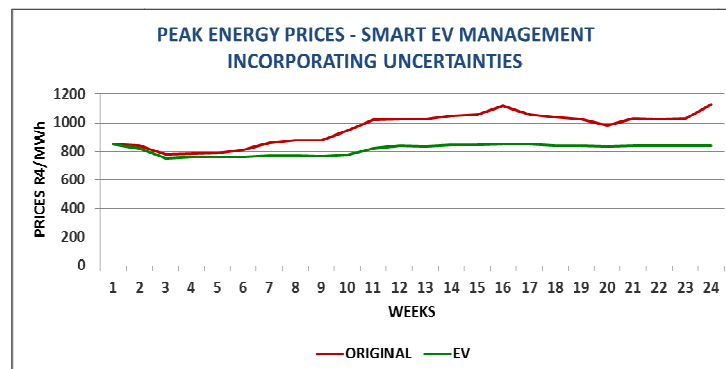


FIGURA3 – Modelo regulatório para veículos elétricos - estabilização de preços considerando incertezas

9.0 - CONCLUSÕES

A rede elétrica vem evoluindo, e o consumidor do futuro será uma realidade em breve. O desenho de um modelo eficiente e duradouro deverá estar pronto para esta evolução.

Este trabalho apresenta um modelo capaz de representar o consumidor atual e sua evolução esperada baseado no conceito de usinas virtuais. O consumidor transforma-se aqui em agente de consumo/geração, e sua atuação é regida automaticamente por um gestor virtual através de sinais de preços que o direcionam no melhor interesse do sistema global. Vale notar que este conceito abraça não apenas o despacho tradicional, mas também, e principalmente, a geração distribuída e as novas fontes renováveis, com todas as incertezas e características inerentes.

Apresentamos ainda a extensão para acomodar a inserção de novas formas de consumo, em especial os veículos elétricos, tomados como usinas virtuais móveis. Todas as características e requisitos necessários – incluindo a carga e a descarga, bem como a mobilidade e os sinais locais.

Finalmente, dedicamos uma atenção especial à estabilidade de preços – o grande ponto fraco de todos os processos “price-driven”. Propomos uma extensão que permite a contenção das oscilações e a convergência para a estabilidade tão necessária para assegurar a tranquilidade do consumidor e a otimalidade de todo o processo.

O modelo proposto tem se mostrado adequado e eficiente para o mercado de energia brasileiro, capaz de reduzir e estabilizar a demanda na base e na ponta. Será possível, assim, planejar, operar e regular um sistema de forma completa e abrangente. A redução de preços, longe de uma imposição, é a consequência natural de um sistema mais adequado e eficiente, pronto para responder às necessidades do consumidor.

10.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) C.Binding, D. Gantenbein, B. Jansen, O. Sundstrom, P.B. Andersen, F. Marra, B. Poulsen, C. Træholt, “Electric vehicle fleet integration in the danish EDISON project - A virtual power plant on the island of Bornholm”, IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2010
- (2) J. Kumagai, “Virtual Plants, Real Power”, IEEE Spectrum, March 2012
- (3) F. Marra, D. Sacchetti, A. B. Pedersen, P. B. Andersen, C. Træholt, E. Larsen, “Implementation of an Electric Vehicle Test Bed Controlled by a Virtual Power Plant for Contributing to Regulating Power Reserves”, IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012
- (4) A. F. Raab, M. Ferdowsi, E. Karfopoulos, I. G. Unda, S. Skarvelis-Kazakos, P. Papadopoulos, E. Abbasi, L.M. Cipcigan, N. Jenkins, N. Hatziaargyriou, K. Strunz, “Virtual Power Plant Control Concepts with Electric Vehicles”, 45th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2010
- (5) L. Pinto, P. Leite, “Smart-grid, green energy and responsive consumers: a “smart-green” framework”, IEEE Powertech 2011, Trondheim, Norway. 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, May 2011
- (6) “Future Transport Fuels”, Report of the European Expert Group on Future Transport Fuels, January 2011, available at <http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cts/doc/2011-01-25-future-transport-fuels-report.pdf>
- (7) P. Zhang, K. Qian, C. Zhou, B. G. Stewart, D.M. Hepburn, “A Methodology for Optimization of Power Systems Demand Due to Electric Vehicle Charging Load”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 27, No. 3, August 2012
- (8) M. Erol-Kantarci, J.H Sarker, H.T.M. Mouftah, “Communication-based Plug-In Hybrid Electrical Vehicle load management in the smart grid”, IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2011
- (9) W. Hu, Z. Chen, B. Bak-Jensen, “Optimal Operation of Electric Vehicles in Competitive Electricity Markets and Its Impact on Distribution Power Systems”, IEEE Trondheim PowerTech, 2011
- (10) R. Couillet, S.M. Perlaza, H. Tembine, M. Debbah, “Electrical Vehicles in the Smart Grid: A Mean Field Game Analysis”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume: 30, Issue: 6, 2012
- (11) T. Logenthiran, M. Erol-Kantarci, J.H.Sarker, H.T. Mouftah, “Multi-Agent System for Managing a Power Distribution System with Plug-in Hybrid Electrical Vehicles in Smart Grid”, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies – India, 2011
- (12) “Electric Vehicles Penetration in Brazil”, 1st Brazilian Seminar on Electrical Vehicles and Electrical Networks, VER-2009
- (13) Energy Planning Authority, Brazilian Indicative Expansion Plan, currently disponível em http://www.epe.gov.br/PDEE/20120924_1.pdf

11.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Leontina Pinto nasceu em Coimbra, Portugal, em 1958. É engenheira elétrica pela UFRJ (1979), mestre em ciências da computação pela COPPE/UFRJ (1981) e doutora em matemática pelo IM/UFRJ (1986). Foi pesquisadora do Cepel, professora da COPPE/UFRJ e da PUC-RIO. É atualmente diretora executiva da Engenharia Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda, liderando o desenvolvimento de modelos matemáticos e produtos para o planejamento, operação, comercialização e gestão de riscos em sistemas e mercados de energia.