

Energy Conservation in Smart Grid

Márcio Venício P. Alcântara
 Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL e
 Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
 Brasília, Brasil
 marciovenicio@aneel.gov.br

Luiz Carlos P. da Silva
 Departamento de Sistemas e Energia, DSE
 Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, FEEC
 Universidade Estadual de Campinas
 Campinas, Brasil
 lui@dsee.fee.unicamp.br

Abstract—A gap remains in the understanding of how best to integrate the end consumer in the perspective application of Smart Grid (SG) technologies in the Power Sector. Thus, from the standpoint of power management/power generation it would be possible to rationalize the use of electricity in an automatic way and in this context the possibility arises to meet part of the demand through the Energy Conservation (EC). This paper presents a study on the application of SG in EC, listing information about new technologies and different ways of applying them to promote the EC. The capability of GridLAB-D simulation tool for simulation of the concepts associated with SG and EC is evaluated.

Index Terms--Distributed Energy Management, Energy Conservation, Energy Efficiency, Smart Grid, Regulation, Computer Simulation.

I. INTRODUÇÃO

Várias concessionárias de energia elétrica ao redor do mundo estão dirigindo seus esforços para a criação de sua Rede Inteligente (RI), o que tem acontecido também no Brasil [1]. Uma das alterações marcantes para todos os envolvidos será viabilizada pelas Infraestruturas Avançadas de Medição (AMIs do inglês *Advanced Metering Infrastructure*), que consistem em instalação de medição inteligente, com comunicação, nas unidades consumidoras, o que possibilitará um canal direto de comunicação entre os Centros de Medição das empresas de energia e o consumidor, permitindo aquisições em tempo real de informações cruciais como ausência de energia naquele ponto de entrega, ou permitindo a tarifação por horário de uso no consumo, além de possibilitar que o consumidor também forneça energia ao sistema, uma vez que este terá medição bidirecional e sistema de micro geração distribuída.

Apesar dos trabalhos apresentados em [2]-[3] ainda existe uma lacuna quanto ao entendimento da melhor forma de se integrar o consumidor final nas perspectivas tecnológica, econômica e regulatória de RI. Dessa forma, do ponto de vista de gerenciamento do consumo/geração de energia seria possível racionalizar de forma automatizada o uso da energia elétrica, e nesse contexto surgiria a possibilidade de se atender parte da demanda através da Conservação de Energia (CE),

conceito esse que terá que ser reconstruído à luz das novas possibilidades em RI.

Gerenciamento pelo Lado da Demanda (DSM do inglês *Demand-Side Management*) pode ser definido como um conjunto de práticas que procuram incentivar os consumidores a mudar seus hábitos e por consequência promover mudanças na forma da curva de carga. A utilização de técnicas de DSM para gestão de cargas possibilita o alívio da rede em horário de pico, aumento da quantidade de geração distribuída que pode ser conectada à rede de distribuição, entre outros benefícios. A gestão das cargas é geralmente tratada em alguns tipos de gerenciamento, mas os mais difundidos e aplicados são: corte do pico, enchimento dos vales, deslocamento de carga e conservação estratégica [2]-[3].

No entanto apenas aplicar DSM e Eficiência Energética (EE) [4] como ações para o gerenciamento da carga do consumidor final com o objetivo de se ter ganhos para o consumidor e o Sistema de Energia Elétrica (SEE) não explora todo o potencial advindo das novas tecnologias de RI. Assim, este artigo aborda a integração dos consumidores através da criação de uma nova concepção para CE que explore todo o potencial do conceito de RI no que se refere a mecanismos para gerenciar a demanda de energia elétrica de clientes em resposta a condições de fornecimento, geração, ambientais, econômicas, entre outros, bem como a utilização dessas ferramentas pela concessionária como forma de gerenciamento da curva de carga

II. CONTEXTUALIZAÇÃO EM REDE INTELIGENTE

A Fig. 1 apresenta uma visão de futuro do que será uma RI: ao invés de um diagrama unidirecional tem-se um multidirecional, com energia e informação fluindo pela rede em todas as direções, das grandes usinas para os consumidores, das fontes renováveis distribuídas pela rede para os consumidores, da geração residencial para a rede, etc. Segue detalhamento da numeração [4]:

- 1) Central Inteligente de Operação do Sistema na empresa;
- 2) Grandes usinas estado da arte em geração eficiente de energia;

- 3) Residências (consumidores e/ou fornecedores);
- 4) Subestações automatizadas;
- 5) Comércio, indústria e governo (consumidores e/ou fornecedores);
- 6) Geração renovável de energia em pequena escala (microgeração);
- 7) Geração distribuída tradicional;
- 8) Armazenamento distribuído de energia;
- 9) Geração distribuída renovável de energia;
- 10) Equipamentos inteligentes e eficientes energeticamente;
- 11) PHEV;
- 12) Informação de consumo em tempo real;
- 13) Programas de DSM;
- 14) Medidores eletrônicos inteligentes;
- 15) Linhas de transmissão eficientes;
- 16) Linhas de distribuição com automação e sensoriamento.

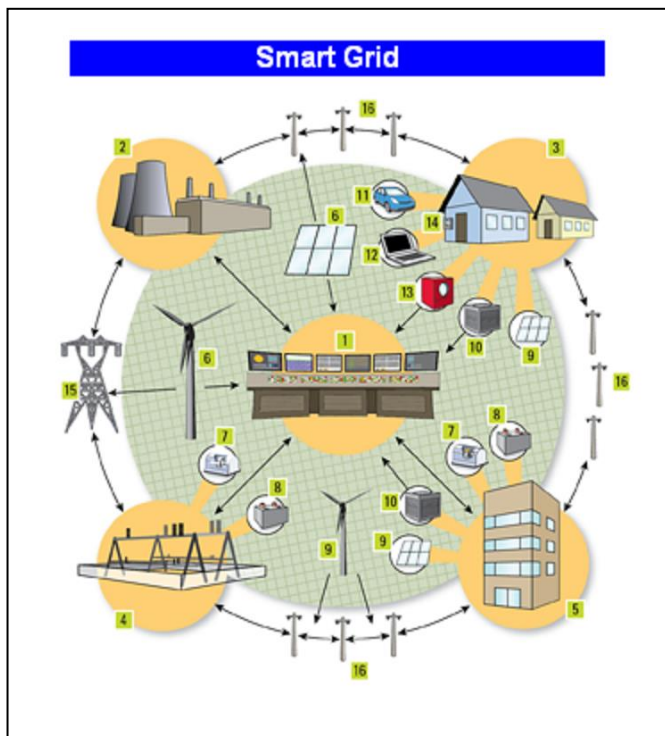


Figura 1. Uma visão conceitual de RI.

Se for pedido a cada um que dê uma definição para RI, será obtida uma resposta diferente da outra. Mesmo os principais grupos de pesquisa não possuem uma definição que seja amplamente aceita. Mas, tomando por base diversos trabalhos, um conceito mínimo pode ser estabelecido para RI [1]:

“Rede Inteligente é uma rede de energia elétrica caracterizada por fluxo bidirecional de energia e informação, sendo possível se controlar das usinas geradoras aos equipamentos dos consumidores.”

A. Componentes Fundamentais e Benefícios de uma Rede Inteligente

No nível físico a RI é formada por cinco componentes fundamentais [5], como mostrado na Fig. 2 a seguir:

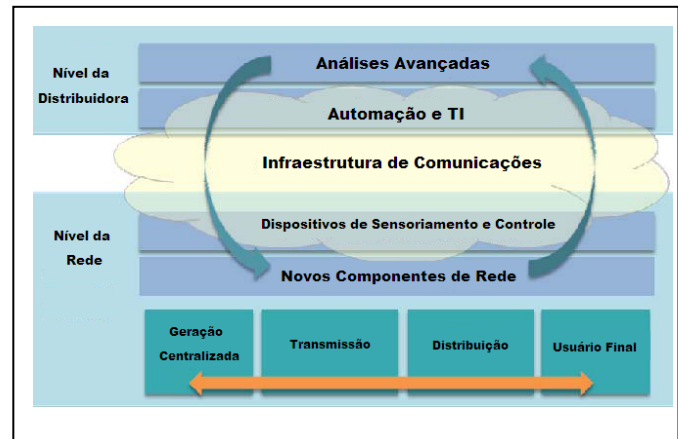


Figura 2. Componentes de uma RI.

No nível da rede: novos componentes de rede como geração distribuição na baixa tensão, veículos elétricos, painéis solares, baterias, etc., e dispositivos de sensoriamento e controle como sistema de AMI. No nível da distribuidora os componentes de rede seriam a infraestrutura de comunicações e automação e sistema de tecnologia da informação e de análise avançada (como mineração de dados).

Os benefícios principais de uma RI seriam [5]: autorecuperação e adaptabilidade, interação com os consumidores, melhoria da qualidade de energia, integração de fontes de energia distribuídas (DER do inglês *Distributed Energy Resources*), a abertura de novos mercados, o aumento da visibilidade da rede e ainda gerenciamento de ativos de forma ótima.

III. CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM REDE INTELIGENTE

A EE em RI apresentado em [3] foi ampliado em [1] para o conceito mais amplo de CE em RI. Assim conservar energia significa na verdade tornar o SEE mais sustentável, com a implementação de soluções renováveis em larga escala, principalmente através de sistemas descentralizados e desacoplados, bem como de Medidas de Eficiência Energética (MEEs) disponíveis e novas que são cada vez mais viáveis. Significa conectar ao SEE cada vez mais produção local de energia, reduzindo perdas na distribuição e transmissão ao em vez de acionar sistemas de geração centralizados. Lembrando-se que o modelo atual, principalmente no Brasil, do SEE é de usinas despachadas e operadas de forma centralizada e distante dos centros de consumo, criar eletricidade em pequena escala nas unidades consumidoras irá proporcionar grandes reduções de perdas, bem como mudar todo o modelo de negócio do SEE.

A Fig. 3 a seguir ilustra através de um diagrama a ligação entre as diversas possibilidade abarcadas pela CE: resposta da demanda (DR do inglês *Demand Response*), integração pelo lado da demanda (DSI do inglês *Demand Side Integration*), EE, geração distribuída (DG de *Distributed Generation*),

armazenamento distribuído de energia (DES de Distributed Energy Storage), recursos energéticos distribuídos (DER - Distributed Energy Resources), gerenciamento distribuído de energia (DEM - Distributed Energy Management), Microrrede e ainda planta virtual de geração (VPP do inglês Virtual Power Plant), cada um com seu potencial de redução de demanda e de geração de energia.

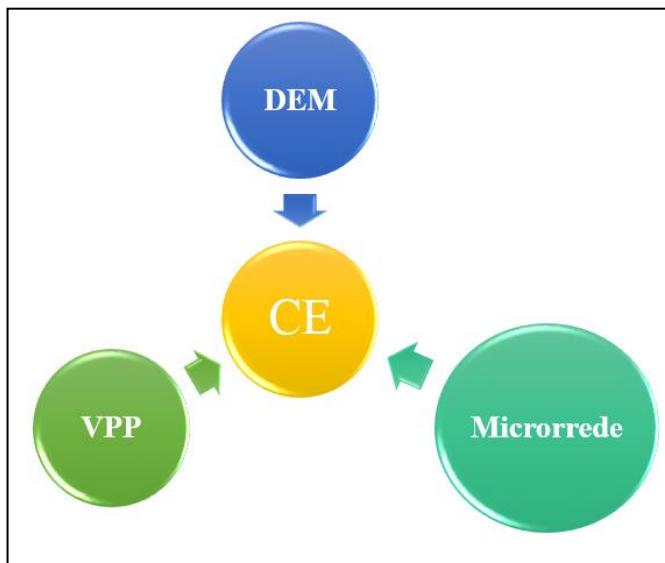


Figura 3. Interligação entre os diversos conceitos contidos na Conservação de Energia.

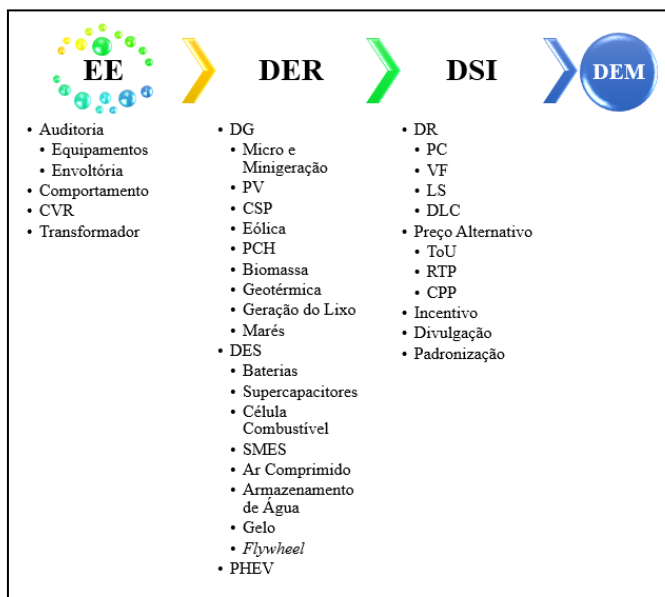


Figura 4. Possibilidades na cadeia DEM.

Na Fig. 4, se as unidades consumidoras coexistirem em um mesmo condomínio geograficamente contínuo elas podem ter seus recursos DEM coordenados e trabalharem conjuntamente no que se conhece como sendo uma Microrrede inteligente. Se ao contrário, elas existirem de forma esparsa geograficamente, dentro da mesma área de concessão, e não pertencerem a um mesmo condomínio consumidor elas podem ser gerenciadas numa VPP pela distribuidora.

Diante do que foi exposto aqui percebe-se que a união de DEM, Microrredes inteligentes e VPP leva à plena CE nas redes de energia elétrica. Assim a criação de programas de CE, que significa a redução do consumo de eletricidade em tempos de alto custo da energia, ou de restrições quanto à capacidade de atendimento da rede, pela possibilidade de resposta dos consumidores a sinais de preço ou quantidade, ou por meio da autogeração de energia, podem se tornar populares, desde que medidas políticas, regulatórias e econômicas as tornem viável economicamente.

IV. SIMULAÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM REDE INTELIGENTE

Se o objetivo for simular CE em RI as dificuldades são grandes, pois a ferramenta necessária, que seria na verdade uma plataforma, deve permitir também avaliação, coordenação, controle, operação e planejamento da RI sob diferentes incertezas, como de DG variável com o tempo, preços variáveis de mercado, diferentes respostas dos consumidores aos programas DSI, modelagem de EE em nível de eletrodomésticos dos consumidores, integração de diversos consumidores em uma Microrrede e ainda a possibilidade de a concessionária formar uma VPP.

Testar em campo essas novas possibilidades como a integração de DERs, medidores inteligentes, eletrodomésticos inteligentes, DG, veículo elétrico (EV - *Electric Veicle*), CE, etc., para se avaliar o impacto de novos métodos em RI é bastante limitado, já que a operação dos SEEs é vital para seus usuários, não sendo possível correr-se riscos. Portanto, simulações de CE em RI são necessárias. Para isso utilizou-se a ferramenta de simulação chamada GridLAB-D [6].

O GridLAB-D é um ambiente de simulação flexível que pode ser integrado com uma variedade de ferramentas de gerenciamento de dados e de análises de terceiros. O algoritmo núcleo coordena o estado de milhões de dispositivos independentes. De forma simplificada, o GridLAB-D examina em detalhes a correlação de cada parte de um sistema de distribuição. Ele não requer o uso de modelos de ordem reduzida para o comportamento agregado de consumidores ou dos sistemas elétricos. O módulo de importação de dados climáticos é um aspecto único. A linguagem em script é particularmente projetada para o GridLAB-D.

A. Simulação de Uma Vizinhança

Para a simulação [1] foi formada uma vizinhança de 300 casas em um mesmo bairro, atendidas pelo mesmo ramal de alimentação, sendo que existem quatro tipos de casas:

1) 20 casas com área de 139 m², integridade térmica normal, sistema HVAC ajustado para mínima de 22°C e máxima de 27°C, possuindo todos os equipamentos de uma residência tradicional com exceção do aquecedor de água que foi substituído por um chuveiro de 5 kW, não possuindo EV e possuindo 900 W de iluminação do tipo incandescente;

2) 80 casas com área de 92 m², sem sistema HVAC, possuindo todos os equipamentos com exceção do aquecedor de água que foi substituído por um chuveiro de 4,5 kW, não

possuindo EV e possuindo 600 W de iluminação do tipo incandescente;

3) 40 casas com área de 232 m², dois pisos, integridade térmica acima do normal, sistema HVAC ajustado para mínima de 22°C e máxima de 27°C, possuindo todos os equipamentos com exceção do aquecedor de água que foi substituído por um chuveiro de 7 kW, possuindo EV Tesla Model S e 1,45 kW de iluminação do tipo incandescente;

4) 160 casas com área de 83 m², sem sistema HVAC, possuindo todos os equipamentos com exceção do aquecedor de água que foi substituído por um chuveiro de 4,5 kW, não possuindo EV e possuindo 500 W de iluminação do tipo incandescente.

Cada tipo de casa usa o chuveiro e a iluminação em horários diferentes do dia. O uso dos EVs segue um desvio padrão para distâncias. Usando-se o GridLAB-D realizou-se a simulação minuto a minuto dessa vizinhança para o mesmo dia 08/02/2013 em Florianópolis, obtendo-se as curvas de carga da Fig. 5.

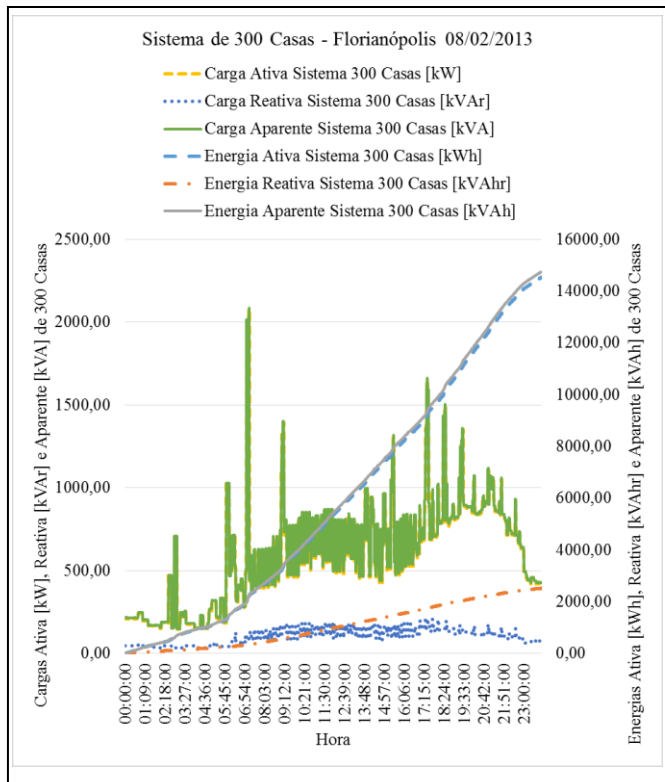


Figura 5. Curvas de carga e energia ativas, reativas e aparentes no GridLAB-D para uma vizinhança de 300 casas em Florianópolis no dia 08/02/2013.

Ao final de 24 horas o consumo total dessa vizinhança energado pela subestação foi de 14.528,30 kWh, com uma demanda máxima de 2.083,53 kW e Fator de Carga (FC) de 0,29.

Como forma coletiva de CE todas as casas fizeram a substituição da iluminação incandescente por fluorescente compacta, a substituição do chuveiro elétrico por aquecimento solar de água, as residências que possuíam sistema HVAC fizeram o ajuste das temperaturas mínima e máxima para 18°C

e 30 °C, respectivamente, e além disso, a integridade térmica de todas as residências que possuem sistema HVAC foi melhorada para o nível acima do normal, e o horário de carregamento dos EVs foi alterado para madrugada. Assim, utilizando-se o GridLAB-D novamente realizou-se a simulação minuto a minuto dessa vizinhança com essas medidas de CE.

A Fig. 6 apresenta as curvas de carga e energia ativas, reativas e aparentes da vizinhança com aplicação de CE. Ao final das 24 horas o consumo total dessa vizinhança foi reduzido para 10.425,10 kWh, ou seja, redução de 28%, com uma demanda máxima reduzida para 806,08 kW, ou seja, redução de 61% e FC aumentado para 0,54, uma grande melhoria.

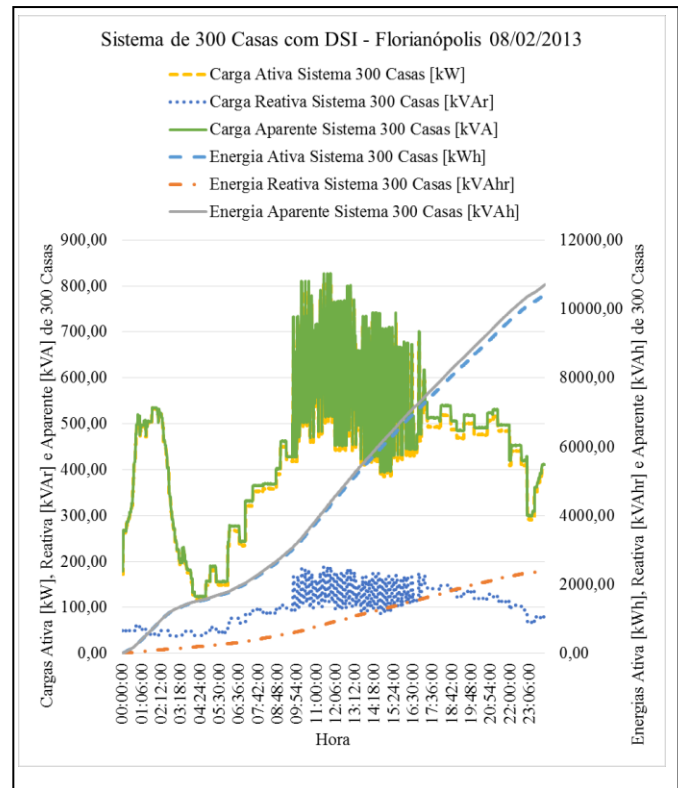


Figura 6. Curvas de carga e energia ativas, reativas e aparentes no GridLAB-D para uma vizinhança de 300 casas em Florianópolis no dia 08/02/2013 onde DSI foi aplicada.

REFERÊNCIAS

- M. V. P. Alcantara, "Energy conservation in smart grid," PhD. thesis, School of Electrical and Computer Engineering, Univ. of Campinas, Campinas, 2014.
- C. W. Gellings, *The smart grid: enabling energy efficiency and demand response*, 1 ed., Lilburn, GA: The Fairmont Press, 2009.
- M. V. Pilar Alcantara, L. C. Pereira da Silva, D. Geraldi, "Energy efficiency in smart grids," in *Proc. 2013 IEEE PES Conference On Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA)*.
- M. V. P. Alcantara, "Impacto da Rede Inteligente na Distribuição de Energia Elétrica no Brasil," in *Proc. XIX SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica*. p.7, 2010, São Paulo, SP.
- C. A. Wei, "Conceptual Framework for Smart Grid," in *Proc. 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. pp. 1–4.
- M. Pöschacker, A. Sobe, W. Elmenreich, "Simulating the Smart Grid," in *Proc. PowerTech 2013 Conference*. p.6, Grenoble.