

A RESPOSTA DA DEMANDA NO SETOR RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO DO SUL DO BRASIL

Sesión Técnica	SESION 2 - Generación Distribuida y Redes Inteligentes
Tema Preferencial	Respuesta de la demanda, Sistemas de control y redes activas, Cargas flexibles, Impacto del automóvil eléctrico.
Autor/es	JOSÉ LUÍS SOUSA (PROFESSOR), RUBIPIARA CAVALCANTE FERNANDES (PROFESSOR), ANTÓNIO GOMES MARTINS (PROFESSOR)
Empresa o entidad	INSTITUTO POLITÉCNICO DE SETÚBAL, PORTUGAL / INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA (BRASIL) / UNIVERSIDADE DE COIMBRA (PORTUGAL) / INESC Coimbra
Cargo	
DATOS DE LA EMPRESA U ORGANIZACION	
Dirección	Campus do IPS, Estefanilha
Localidad	Setúbal
País	Portugal
Código Postal	2900-761
Teléfono	+351 265 790 000
Fax	
E-Mail	jose.luis.sousa@estsetubal.ips.pt

DETALLE DEL CONTENIDO

A utilização de recursos energéticos distribuídos, em particular a produção fotovoltaica próxima dos locais de consumo, apresenta desafios a gestores das redes de distribuição. Estes desafios resultam do facto de os diagramas de carga (DC) dos consumidores residenciais e os diagramas de produção fotovoltaica não serem coincidentes nos seus picos e vales ao longo do dia. Os Sistemas Eléctricos de Energia (SEE) terão que se adaptar para responder, da forma mais eficiente possível, às rampas descendentes no início do dia, e às rampas ascendentes, no final do dia, com o surgimento e o desaparecimento da produção fotovoltaica diária, respetivamente. O recurso à resposta dinâmica da procura (resposta da demanda) de eletricidade tem vindo a ser explorado com vista à adaptação ótima dos SEE a estas novas condições de exploração. Para tal interessa identificar os serviços de energia que mais contribuem para os consumos nestes períodos, assim como as alternativas disponíveis e as estratégias que poderão contribuir para a alteração dos DC dos consumidores através de medidas concretas que possam ser promovidas por distribuidoras de eletricidade.

Foram usados como estudo de caso três tipos de consumidores residenciais de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Foram identificados os serviços de energia que mais contribuem para as rampas da demanda do início e do final do período de geração solar e que poderão ser alvo de medidas de condicionamento da demanda. Assim, como estratégias para estimação dos DC foram usadas a promoção da eficiência energética direcionada (Targeted Efficiency), o uso de fontes alternativas à eletricidade e controlo de cargas (desvio de consumos), mais concretamente: substituição de chuveiro eléctrico por *boiler*

ou por aquecimento solar térmico, substituição de sistemas de aquecimento e arrefecimento ambiente por sistemas reversíveis e aumento da eficiência em ventiladores e sistemas de iluminação.

Assim, verifica-se que a identificação e caracterização dos consumos permite aos gestores de rede a identificação de medidas concretas que possam ser adotadas pelos consumidores, tornando-os participantes na resolução de problemas concretos dos SEE.

INTRODUÇÃO

O consumo de energia cresce mundialmente, assim como a preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade, combinar novas tecnologias, mudanças de hábitos e técnicas que possibilitem um uso mais eficiente da energia são necessidades atuais. O melhor uso da energia, assim como alternativas que diminuam seu consumo, tornam-se particularmente importantes. Dentro desse contexto e aliados aos novos sistemas de conversão das energias renováveis distribuídos; o livre acesso às redes de energia; e a utilização local de energias renováveis para abastecer os consumidores vão sendo cada vez mais incentivados (Fernandes et al., 2016a e Takigawa et al., 2016). Desse modo, observa-se que a curva de carga, tal como é vista pelas operadoras da rede, tem vindo a mudar de forma, com consequências tanto ao nível operacional como ao nível das receitas. Assim, constata-se que um dos problemas operacionais está relacionado à redução da procura pela manhã, com o aumento da geração solar, e o rápido aumento da procura no final da tarde, devido à redução da geração solar e ao aumento de cargas residenciais.

Considerando esses aspectos como premissas, pretende-se com este estudo identificar estratégias adequadas para mitigar os efeitos que a produção distribuída poderá ter sobre o sistema de energia elétrica em geral e sobre as redes de distribuição de energia elétrica em particular.

A DEMANDA AO SERVIÇO DA REDE

O crescente interesse em recursos energéticos distribuídos (DER), nomeadamente em sistemas de armazenamento de eletricidade e em fontes renováveis alternativas, acompanhado de incentivos à sua implementação e ao desenvolvimento de novas tecnologias, têm sido considerados uma ameaça às receitas das operadoras de rede, à sua rentabilidade e à redução de custos de operação. Na medida em que eles alteram a indústria da eletricidade, têm sido chamados “desafios disruptivos” (Kind, 2013). Esses desafios disruptivos também são resultados da queda dos custos das alternativas de geração distribuída, do crescente interesse nas opções de gerenciamento do lado da demanda, do abrandamento da taxa de crescimento da demanda de eletricidade, entre outras. Com a implantação dos DER, principalmente geração solar, a curva de carga, conforme vista pelas concessionárias de rede, está mudando da forma de “camelo” para a forma de “pato”, aumentando problemas de receita e operacionais. Um dos problemas operacionais está relacionado à redução da demanda no período da manhã, com o aumento da geração solar, e o rápido aumento da demanda no período da tarde, devido à redução da geração solar e ao aumento de cargas residenciais.

Jim Lazar (2016) propõe 10 estratégias para controlo da geração, gestão da demanda e achatar a forma da carga, reduzindo a amplitude dos períodos de subida e descida, destacando-se, para o caso em estudo:

Estratégia 1 - Eficiência direcionada (“Targeted efficiency”): medidas de eficiência energética que geram poupanças em períodos de stress do sistema;

Estratégia 4 - Controle aquecedores elétricos de água para reduzir a demanda de pico e aumentar a carga em horas estratégicas (“Control electric water heaters to reduce peak demand and increase load at strategic hours”);

Estratégia 8 - Implementar programas de resposta à demanda agressivos (“Implement Aggressive Demand-Response Programs”).

Como pode ser visto, uma das estratégias foi denominada Eficiência direcionada, referente a medidas destinadas a proporcionar redução dos consumos de energia em determinados períodos de tempo, através do aumento da eficiência dos equipamentos em uso nesses mesmos períodos. A fim de projetar corretamente as medidas, é importante conhecer o DC associado ao serviço de energia solicitado pelo cliente. Além da redução do consumo de energia, as medidas de eficiência energética podem ter impactos importantes na curva de demanda, ajudando a postergar investimentos em transmissão e distribuição (Nadel, 2014). Esses efeitos não devem ser ignorados, a fim de serem devidamente avaliados. Outra estratégia, a Estratégia 8, também necessita de um conhecimento aprofundado dos hábitos de consumo de forma a que o desenho das medidas preconizadas sejam eficazes e permitam obter os objetivos desejados.

ESTUDO DE CASO

Neste trabalho foram estudados três casos típicos residenciais, com diferentes agregados familiares. Num primeiro caso, *Caso 1*, foi estudado um apartamento com dois quartos, para duas pessoas (estudantes). O *Caso 2* é caracterizado por um agregado familiar de quatro pessoas vivendo num apartamento ou casa de classe média, com três quartos. O agregado familiar do *Caso 3* é também de quatro pessoas, mas inclui empregados, habitando uma casa de classe alta, com quatro quartos. Os dados de caracterização dos consumidores residenciais foram recolhidos no âmbito do projeto Europeu *Electricity Consumption Analysis to Promote Energy Efficiency considering Demand Response and Non-technical Losses* (ELECON) (Fernandes et al., 2016b).

Para cada caso em estudo, foram analisados dois DC típicos, um de inverno e outro de verão. Os dados de consumos dos diferentes eletrodomésticos foram agrupados nos seguintes serviços de energia: Audio-visuais, Arrefecimento / Aquecimento ambiente, Águas quentes sanitárias (AQS), Cozinha, Iluminação, Refrigeração, Roupa, Louça, Outros (inclui ferro elétrico, aspirador, ..).

No que diz respeito às tecnologias tipicamente utilizadas para a obtenção dos serviços de energia, interessa destacar: lâmpadas fluorescentes compactas e LED para iluminação; chuveiro elétrico para AQS; aquecedor móvel de ambiente, ar condicionado e ventilador para condicionamento ambiente; fornos elétrico e por micro-ondas na cozinha.

Um dos objetivos deste trabalho é a identificação de estratégias para minimizar o efeito das rampas de consumo devido à produção local de eletricidade de origem fotovoltaica. A seguir são apresentados os DC desagregados por serviços de energia anteriormente mencionados e os diagramas de geração solar fotovoltaica (DG), para cada um dos casos residenciais em estudo, para o inverno e para o verão. Através da análise da sobreposição destes dois tipos de dados (consumo e produção) é possível identificar os serviços de energia usados em cada residência, e estação do ano, nos períodos de início e final da geração solar fotovoltaica.

Para o *Caso 1*, para a semana de verão (Figura 1-(a)) verifica-se que os serviços de energia solicitados antes do início da produção fotovoltaica são iluminação, lavagem de roupa e aquecimento de águas. No final do dia, com o fim da geração local, verifica-se a utilização de iluminação, audiovisuais, arrefecimento ambiente, lavagem de roupa e cozinha.

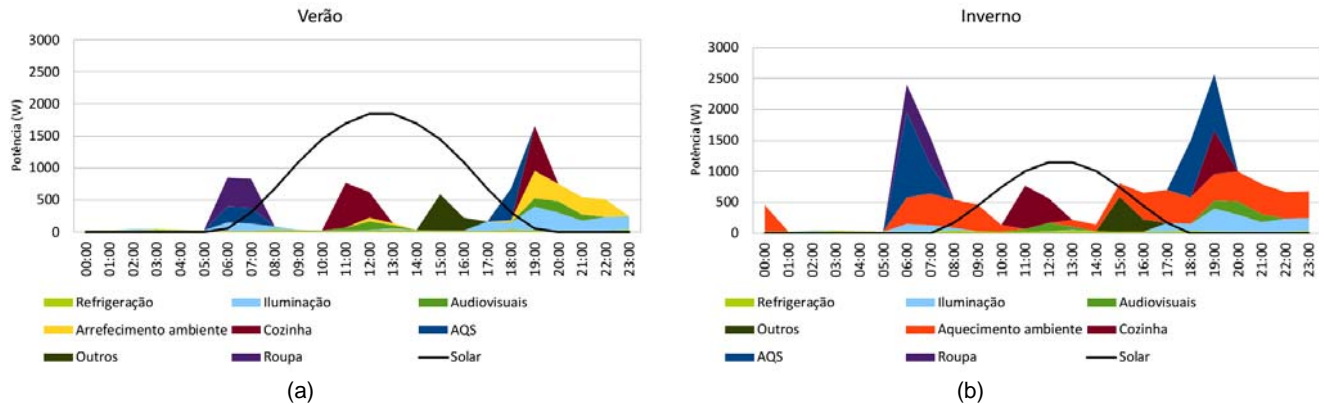


Figura 1 – DC desagregados e DG para o Caso 1, no verão (a) e no inverno (b).

Já no que diz respeito à semana de inverno (Figura 1-(b)) verifica-se que, comparativamente à semana de verão, acresce o aquecimento ambiente, com o início da geração local. Ao final do dia, os serviços de energia usados são iluminação, audiovisuais, aquecimento ambiente, aquecimento de águas e cozinha. Para o Caso 2, apartamento ou casa habitada por família de quatro pessoas de renda média, os serviços de energia usados com o início da geração solar são audiovisuais, iluminação, aquecimento de água e lavagem de roupa (Figura 2-(a)). Audiovisuais, iluminação, arrefecimento ambiente, cozinha e aquecimento de águas sanitárias são os serviços de energia mais usados ao final do dia da estação quente.

No inverno (Figura 2-(b)), verifica-se que os serviços de energia solicitados por este agregado familiar e coincidentes com o início e final da geração solar são audiovisuais, iluminação, aquecimento de águas sanitárias, arrefecimento ambiente, lavagem de roupa, ao início do dia, e cozinha, ao final do dia.

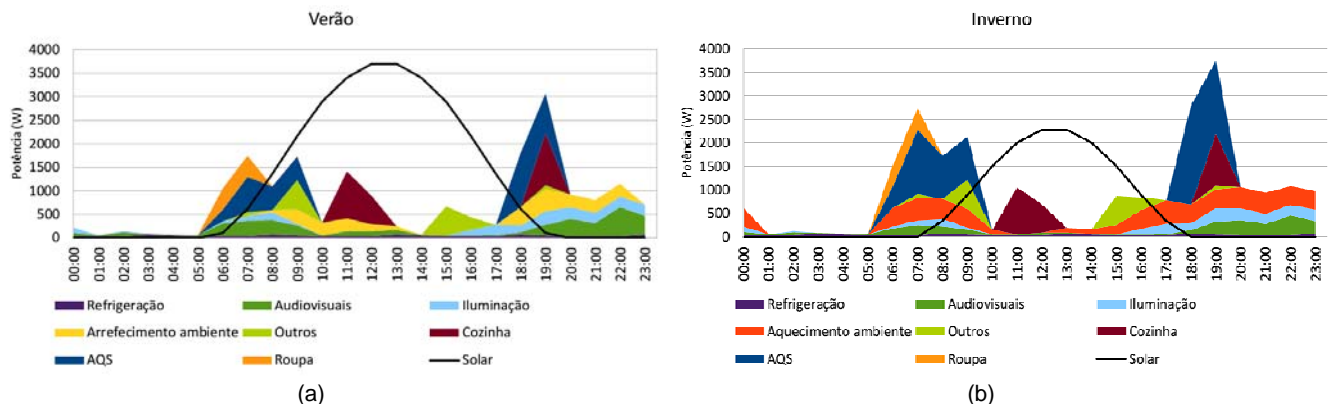


Figura 2 - DC desagregados e DG para o Caso 2, no verão (a) e no inverno (b).

Para o Caso 3, relativo à casa habitada por família de 4 pessoas, de renda alta, verifica-se que os serviços de energia usados ao início do dia de verão em Florianópolis são audiovisuais, aquecimento de águas sanitárias e lavagem e secagem de roupa (Figura 3-(a)). Ao final do dia, os serviços de energia solicitados são iluminação, audiovisuais, aquecimento de águas, cozinha e arrefecimento ambiente.

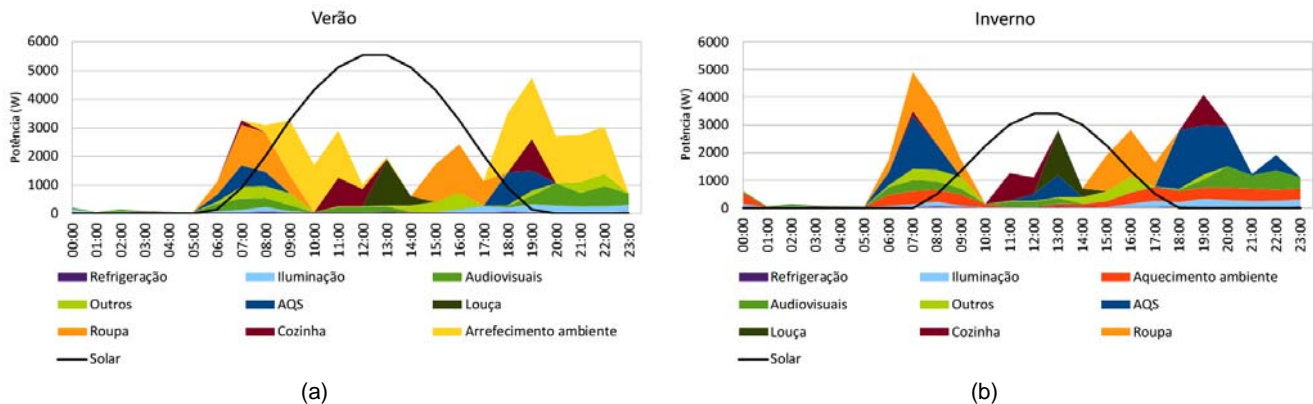


Figura 3 - DC desagregados e DG para o Caso 3, no verão (a) e no inverno (b).

No dia de inverno, e ao início do dia, esta família de alta renda, solicita energia elétrica para iluminação, aquecimento ambiente, audiovisuais, aquecimento de águas sanitárias, lavagem e secagem de roupa e outros serviços diversos (Figura 3-(b)). Ao final do dia, com o fim da produção solar, os serviços de energia usados são iluminação, aquecimento ambiente, audiovisuais, aquecimento de águas sanitárias e cozinha.

RESULTADOS OBTIDOS

Após a identificação dos serviços de energia tipicamente utilizados nos períodos de inicial e final da geração solar, interessa caracterizar os equipamentos de uso final usados para satisfazer as necessidades dos consumidores de forma a ser possível desenhar as estratégias a serem usadas em cada caso.

Para os Casos 1 e 2, estão apresentados na Tabela 1 os serviços de energia e as correspondentes tecnologias/equipamentos de uso final, mais usados nas zonas das rampas. São também indicadas as alternativas simuladas.

Tabela1 – Serviços de energia, tecnologias/equipamentos usados nas zonas das rampas típicos em clientes residenciais do Caso 1 e Caso 2, assim como as alternativas adoptadas.

Serviços de energia	Tecnologia/equipamento	Alternativa
Iluminação	- Lâmpadas fluorescentes compactas; - Lâmpadas com tecnologia LED	- Aumentar penetração de iluminação LED (redução da potência em 25%)
AQS	- Chuveiro elétrico	- Substituição por boiler alimentado por energia gerada localmente;
Aquecimento/Arrefecimento ambiente	- Aquecedor móvel de ambiente - Ar-condicionado tipo “split” menor ou igual a 10 000 BTU; - Ventilador de mesa	- Substituição por bomba de calor; - Substituição por bomba de calor; - Substituir por outro de mais elevado rendimento
Cozinha	- Forno elétrico e Coifa (só no Caso 2); - Forno micro-ondas.	- Adiar a utilização (em 15 minutos) - Substituir por outro de rendimento mais elevado

Na Figura 4 são apresentados os diagramas de carga do Caso 1, vistos da rede. Os valores negativos representam a injeção de energia na rede, após a satisfação das necessidades a partir da geração local.

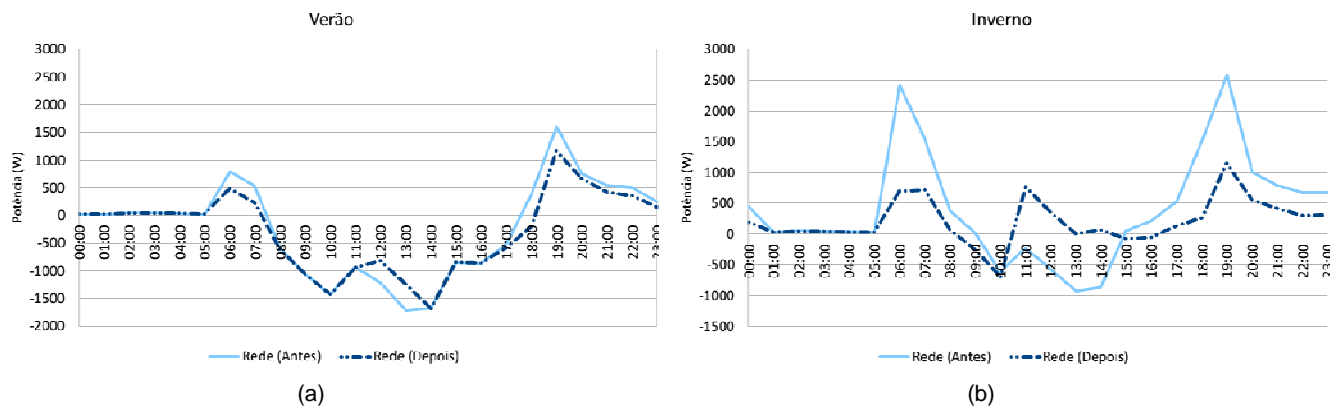


Figura 4 – Diagrama de carga, visto da rede, após a implementação das alternativas, no verão (a) e no inverno (b), para o caso 1.

Verifica-se uma redução mais importante das pontas, tanto da manhã quanto da tarde, no inverno (a rondar os 70% e os 55%, respectivamente) do que no verão (entre os 40% e os 27%, respectivamente). Isto deve-se, predominantemente, às alternativas usadas para o AQS, iluminação e aquecimento ambiente.

Na Figura 5 são apresentados os diagramas de carga do Caso 2, vistos da rede. Tal como referido anteriormente, os valores negativos representam a injeção de energia na rede, após a satisfação das necessidades a partir da geração local.

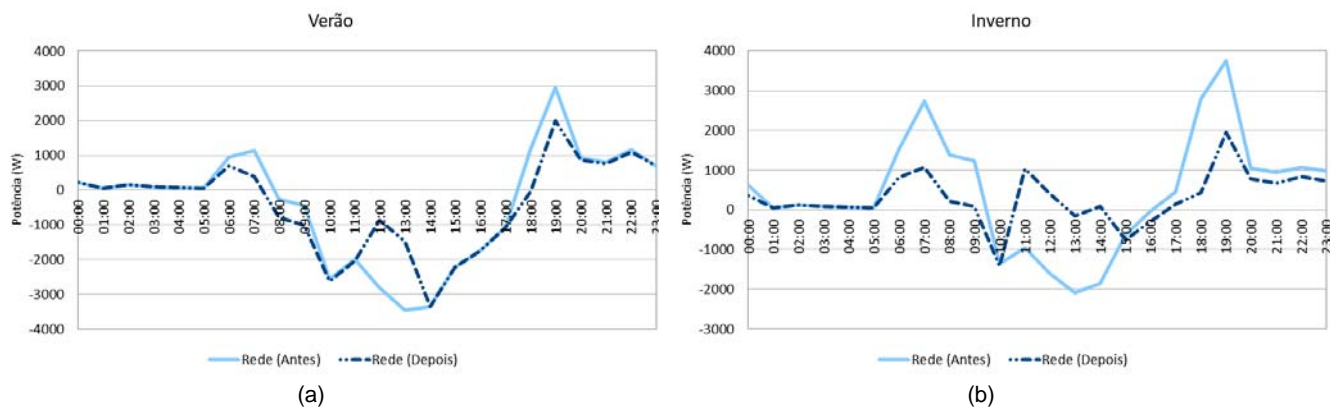


Figura 5 – Diagrama de carga, visto da rede, após a implementação das alternativas, no verão (a) e no inverno (b), para o caso 2.

A redução da ponta do final do dia, no verão (33% da ponta), deve-se, essencialmente aos desvios de consumos para AQS e cozinha. No caso do inverno, a redução da ponta da noite deve-se, em cerca de 1600W, ao desvio dos consumos para AQS. Uma vez que, no inverno, a utilização da cozinha não coincide com o final da produção local fotovoltaica, não foram simuladas campanhas de sensibilização para adiar a sua utilização em 15 minutos, aproximadamente.

Os serviços de energia mais usados nas zonas das rampas, para o Caso 3, assim como as correspondentes tecnologias/equipamentos de uso final e alternativas simuladas, são apresentados na Tabela 2. Considerando que a superfície de cobertura é suficientemente ampla para permitir a instalação

de painéis fotovoltaicos e solar térmicos, optou-se por esta última alternativa para aquecimento de águas sanitárias, ou invés da utilização de boiler para o efeito.

Tabela2 – Serviços de energia, tecnologias/equipamentos usados nas zonas das rampas típicos em clientes residenciais do Caso 3, assim como as alternativas adoptadas.

Serviços de energia	Tecnologia/equipamento	Alternativa
Iluminação	- Lâmpadas fluorescentes compactas; - Lâmpadas com tecnologia LED	- Aumentar penetração de iluminação LED (redução da potência em 25%)
AQS	- Chuveiro elétrico	- Painéis solar térmicos
Aquecimento/Arrefecimento ambiente	- Aquecedor móvel de ambiente - Ar-condicionado tipo "split"; - Ventilador de mesa e de teto	- Substituição por bomba de calor; - Substituição por bomba de calor; - Substituir por outro de mais elevado rendimento
Cozinha	- Coifa e Forno elétrico;	- Adiar a utilização (em 15 minutos)

Na Figura 6 são apresentados os diagramas de carga do Caso 3, vistos da rede.

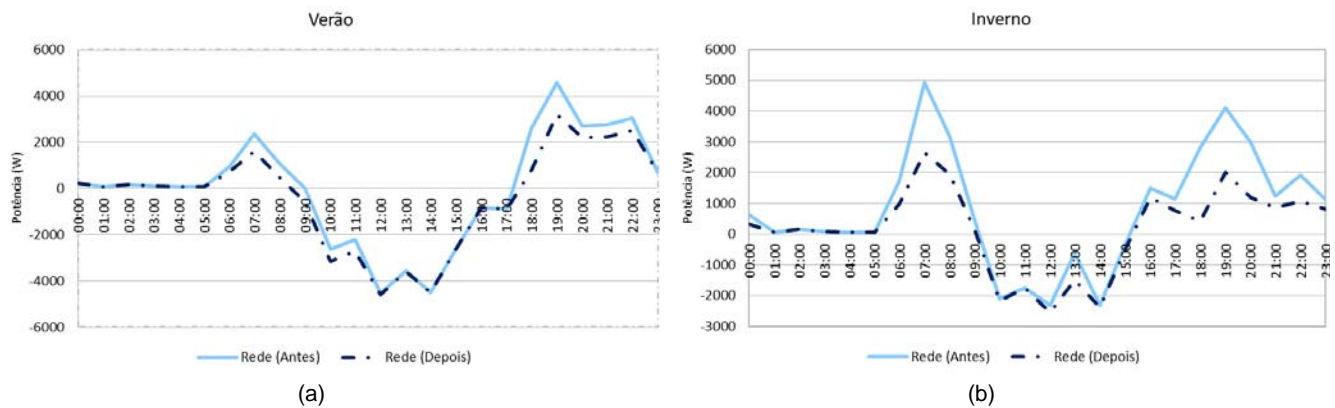


Figura 6 – Diagrama de carga, visto da rede, após a implementação das alternativas, no verão (a) e no inverno (b), para o caso 3.

A redução na ponta do final do dia de verão, deve-se à implementação das alternativas para AQS, arrefecimento ambiente e cozinha. Já no dia de inverno a redução da ponta do final do dia deve-se, essencialmente, às alternativas para aquecimento ambiente e iluminação e a do início do dia aos consumos para AQS e aquecimento ambiente. As reduções das pontas representam, aproximadamente 30% do valor das pontas do verão e rondam os 50% das pontas do inverno.

CONCLUSÕES

Pretendeu-se com este estudo identificar alternativas que permitam ao operador da rede de distribuição mitigar o efeito que a produção local fotovoltaica pode ter nas solicitações de energia à rede. Foram estudados três casos típicos de consumidores domésticos de Florianópolis, no sul do Brasil.

Após identificados os serviços de energia e as tecnologias coincidentes com o início e com o fim da geração solar local, foram identificadas alternativas que mitigassem o efeito que as rápidas alterações das

solicitações à rede têm nesses instantes. Assim, as alternativas encontradas enquadram-se em estratégias para alteração do diagrama de carga, mais concretamente:

- Eficiência energética dirigida (estratégia 1);
- Controle aquecedores elétricos de água para reduzir a demanda de pico e aumentar a carga em horas estratégicas (estratégia 4);
- Fontes alternativas de energia;
- Implementação de programas de resposta dinâmica da procura (estratégia 8).

Os resultados preliminares agora apresentados indiciam que existe um potencial interessante para a utilização da resposta da demanda como alternativas para mitigar o efeito referido.

Interessa ainda analisar o efeito que estas e outras estratégias concretas, como por exemplo, a orientação de renováveis para as pontas, possam ter tanto na forma dos diagramas de carga quanto na redução dos custos com a eletricidade destes consumidores e na faturação dos comercializadores.

REFERÊNCIAS

- Fernandes, R. C., Geisler, R. de A., Tenfen, D., Abreu, S. L., Takigawa, F. Y. K., Aranha Neto, E. A. C. (2016a). "Demand Side Management of Electricity Aiming to Minimize Cost of Residential Consumers", Journal of Clean Energy Technologies - JO CET, vol. 4, n. 5, pp. 321-324, 2016.
- Fernandes, Filipe, D. Alves, Pinto, T., Takigawa, F., Fernandes, R., Morais, H., Vale, Z. e Kagan, N. (2016b). Intelligent Energy Management using CBR: Brazilian Residential Consumption Scenario. 2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), Athens, Greece, 6-9 December 2016.
- Kind, P. (2013). "Disruptive Challenges: Financial Implications and Strategic Responses to a Changing Retail Electric Business". Edison Electric Institute: Washington, DC, USA, 2013. Available online: <http://www.eei.org/ourissues/finance/Documents/disruptivechallenges.pdf> (accessed on September 29, 2016).
- Lazar, J. (2016). Teaching the "Duck" to Fly, Second Edition. Montpelier, VT: The Regulatory Assistance Project. Available at: <http://www.raponline.org/document/download/id/7956> (accessed on October 31, 2016)
- Nadel, S. and Herndon, G. (2014). The future of the utility industry and the role of energy efficiency, American Council for an Energy-Efficient Economy, Report number U1404, June.
- Takigawa, F. Y. K., Fernandes, R. C., Aranha Neto, E. A. C., Tenfen, D., Sica, E. T. (2016). "Energy Management by the Consumer with Photovoltaic Generation: Brazilian Market", IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 5, pp. 2226-2232.