

Gerenciamento pelo Lado da Demanda de um Sistema Residencial utilizando Recozimento Simulado

Rodrigo V. Silva, GP-PEEACIA

Grupo de pesquisas em processamento de energia elétrica,
automação e controle, e inteligência artificial.

Instituto Federal do Pará

Marabá, Brasil

rodrigo.veiga@ifpa.edu.br

Carolina M. Affonso, PPGEE

Planejamento e Otimização de Sistemas de Potência

Universidade Federal do Pará

Belém, Brasil

carolina@ufpa.br

Abstract— This paper presents a strategy for demand side management to residential consumers, using Simulated Annealing and a Battery. This paper evaluates the application of a new time-of-use tariff, called White Tariff (WT), which is being implemented in Brazil. This tariff is applied to low voltage consumers that can choose to migrate to the new tariff. The results show a positive impact on consumer's energy bill that implies is savings when demand management is applied with the proposed method. However, the results show a negative impact to consumers bill when they decide to adopt the White Tariff and does not management its consumption.

Index Terms—Demand Side Management, Meta-Heuristics, Residential System, Simulated Annealing, White Tariff.

I. INTRODUÇÃO

O GERENCIAMENTO de energia tem atraído considerável interesse da sociedade nos últimos anos. Este interesse crescente deve-se a necessidade de atendimento de novos consumidores, a presença maciça da tecnologia em atividades básicas do cotidiano, a necessidade de preservação do meio ambiente e as crises na economia mundial. A indústria de eletricidade passou a buscar novos caminhos alternativos a tradicional visão de provimento pela oferta.

Vislumbrou-se então o gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), termo também conhecido em inglês por *DSM - Demand Side Management*, que é um conjunto de ações de planejamento, implementação e monitoramento de atividades que influenciam na forma de utilização da eletricidade dos consumidores, de tal maneira que ocorram alterações desejadas nas curvas de carga das empresas de energia elétrica. As alterações no padrão da curva de carga podem ocorrer através da redução dos picos de carga, preenchimento de vales, deslocamento de cargas, conservação estratégica, crescimento estratégico de carga e flexibilização da curva de carga [1]. Combinar novas tecnologias, mudança de hábitos e técnicas que possibilitem um uso mais eficiente da energia são necessidades atuais.

Uma das formas mais utilizadas de GLD, desde as décadas de 60 e 70, é o gerenciamento das cargas através de tarifas

incentivadas que variavam conforme o período de consumo ou através da opção de reduzir cargas. Esta estratégia é geralmente utilizada pelas empresas de energia elétrica para reduzir os custos operativos nos horários de pico e como forma de postergar investimentos [2].

Diversos trabalhos têm sido publicados recentemente com propostas de gerenciamento da demanda. Em [3] é feito o agendamento do consumo de dispositivos através do algoritmo MinMax utilizando um banco de baterias para armazenamento da energia. A cada iteração é alocado ao horário com menor custo o dispositivo com maior consumo de energia. Em [4] é apresentada uma abordagem com algoritmos genéticos para gerenciar o consumo de energia de uma residência através de um sistema SCADA desenvolvido pelos autores. Na referência [5] os autores propõem um método para o desenvolvimento de propostas de agendamento de consumo de dispositivos residenciais através de algoritmos genéticos. Em [6] os autores propõem o uso de programação dinâmica adaptativa para o gerenciamento da energia em um sistema residencial que faz uso de baterias. O artigo [7] publicado recentemente apresenta possíveis ações de GLD que podem ser aplicadas no Brasil, no contexto de Redes Inteligentes e Eficiência Energética.

No Brasil, as experiências com o GLD iniciaram-se a partir de 1982 através do uso de tarifas horo-sazonais aplicadas aos consumidores de média e alta tensão, chamadas de Tarifa Verde e Tarifa Azul. Mais recentemente, em novembro de 2011, foi aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a implantação da tarifa branca na estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia brasileiro [8].

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar o custo de energia para o consumidor atendido em baixa tensão, com a aplicação de uma nova tarifa de energia já estabelecida pela ANEEL, chamada Tarifa Branca, em conjunto com a utilização de baterias na unidade consumidora residencial. Para otimização do sistema, será utilizado o método de Recozimento Simulado, também conhecido como *Simulated Annealing*.

As próximas seções deste artigo estão organizadas da seguinte maneira. A seção 2 apresenta os conceitos fundamentais sobre ações de gerenciamento pelo lado da

demanda bem como especificidades da Tarifa Branca já aprovada no Brasil. Na seção 3 será apresentada a metodologia proposta neste trabalho, desde a formulação matemática, o sistema residencial adotado, e o método de Recozimento Simulado utilizado. A seção 4 apresenta os resultados obtidos, e por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais deste trabalho.

II. GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

Atividades de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) são aquelas que envolvem ações junto aos consumidores, e englobam o gerenciamento da carga, conservação estratégica, eletrificação e estratégias para o crescimento da participação no mercado [9].

Um programa de GLD envolve planejamento, análise, e implementação de atividades que influenciam o consumidor a mudar a configuração de sua curva de carga [10]. A implantação de cada alternativa pode resultar em um uso eficiente de recursos e reduzir os custos para a empresa elétrica e para o consumidor. Assim, o gerenciamento pelo lado da demanda implica em reduzir ou postergar investimentos pelo lado da oferta. As abordagens e técnicas de um programa GLD envolvem uma parceria entre empresas e consumidores, na busca de um campo comum de maximização mútua de benefícios.

Visando remodelar a curva de carga, pode-se identificar seis objetivos distintos como mostra a Fig. 1: rebaixamento do pico, preenchimento de vales, mudanças na carga, conservação estratégica, crescimento estratégico de carga e curva de carga flexível [9].

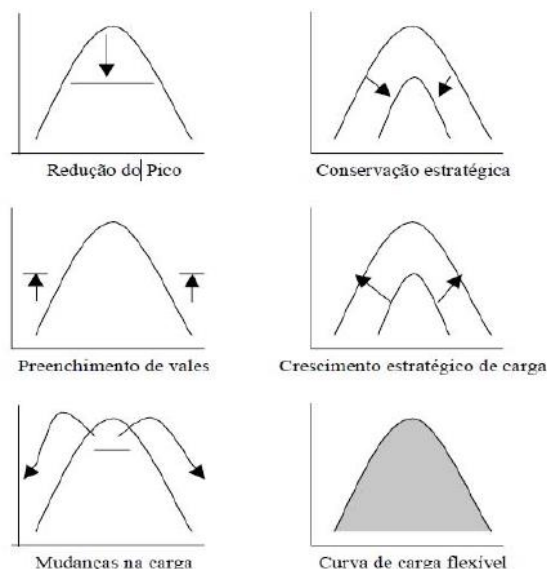


Figura 1. Objetivos de programas de GLD

Existe um grande número de alternativas existentes para a execução de programas de GLD e obtenção dos objetivos mencionados acima. Uma das alternativas é a utilização de tarifas variáveis no tempo (*time-of-use rates*), utilizadas para mudar o consumo de energia através de um sinal de preço fixado para cada período, informando com antecedência o perfil de consumo ao consumidor final. A estratégia é adotar tarifas

mais altas em horários de ponta e tarifas mais baixas para períodos fora da ponta. Se o consumidor adotar hábitos que priorizem o uso da energia fora do período de ponta, diminuindo fortemente o consumo na ponta e no intermediário, a utilização de tarifas diferenciadas oferece a oportunidade de reduzir o valor pago pela energia consumida.

No Brasil, a ANEEL aprovou em 2011 a mudança da estrutura tarifária do segmento de distribuição de energia elétrica adotando a modalidade de Tarifa Branca.

Antes da criação da Tarifa Branca havia apenas uma Tarifa, a Convencional, que tem um valor único (em R\$/kWh) cobrado pela energia consumida e é igual em todos os dias, em todas as horas. Com a Tarifa Branca, o consumidor passa a ter a possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana. Nos dias úteis, o valor da Tarifa Branca varia em três horários como mostra a Fig. 2: ponta, intermediário e fora de ponta. No horário de ponta e no intermediário, a energia é mais cara. Já no horário fora de ponta, a energia é mais barata. Nos feriados nacionais e nos finais de semana, o valor é sempre fora de ponta ou pode ser como nos dias de semana, dependendo da concessionária.

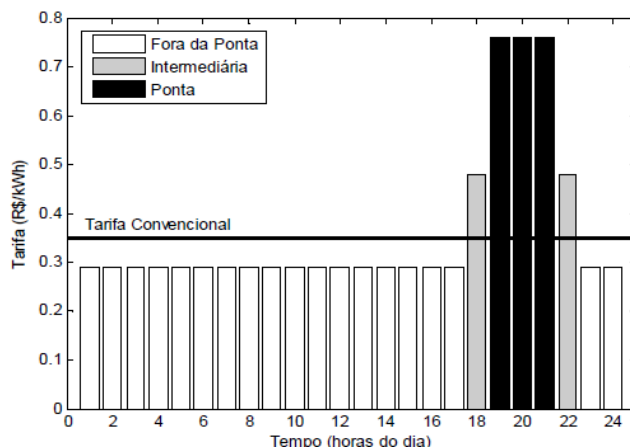


Figura 2. Tarifa Branca estabelecida pela ANEEL

III. METODOLOGIA PROPOSTA

Esta seção apresenta a metodologia proposta neste artigo para gerenciamento do consumo de energia em um sistema residencial utilizando a nova modalidade tarifária da ANEEL. Também serão apresentados detalhes do algoritmo de Recozimento Simulado e da formulação matemática utilizada.

A. Sistema Residencial

Define O sistema considerado neste trabalho inclui uma residência, um banco de baterias e a rede elétrica. A potência que vem do sistema de distribuição opera em corrente alternada (CA), entretanto o banco de baterias trabalha em corrente contínua.

Dessa forma, para que a bateria seja acoplada ao sistema de energia é necessário o uso de um sistema inversor bidirecional (Retificador/Inversor de Frequência) que transforma corrente contínua em corrente alternada e vice-versa.

A Fig. 3 apresenta como a bateria compõe o sistema de armazenamento, operando em paralelo à rede elétrica. O fluxo de cargas na rede elétrica é unidirecional (só provê energia), no sentido rede-residência, enquanto que o fluxo de energia na bateria é bidirecional: ora recebendo energia (carregando), ora provendo energia para a residência (descarregando).

No funcionamento da bateria são considerados três modos de operação:

- Modo carregando: quando a carga da bateria estiver baixa e o preço da energia economicamente barato, a rede elétrica alimentará, ao mesmo tempo, residência e bateria;
- Modo descarregando: quando a bateria estiver quase ou totalmente carregada e o preço da energia elevado, a demanda da residência será atendida somente pela bateria. Neste caso, a rede elétrica não alimenta nem a bateria nem a residência;
- Modo ocioso: a demanda de energia da residência será atendida totalmente pela rede elétrica. Neste caso a bateria não está carregando e nem descarregando.

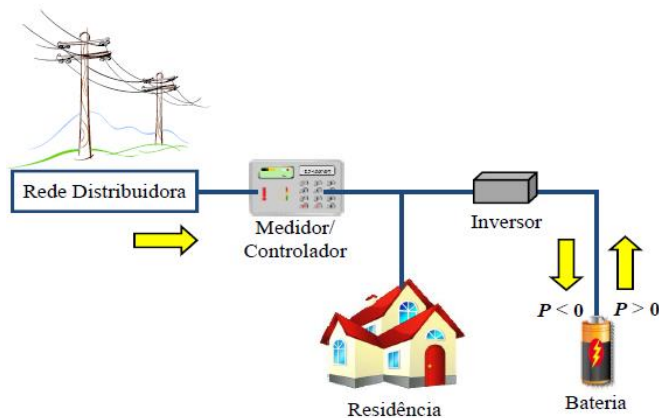


Figura 3. Sistema residencial

O gerenciamento de energia implica no chaveamento entre esses modos de operação, objetivando a minimização dos custos de energia. O custo total de energia em uma residência é o somatório dos custos em cada instante de tempo, que por sua vez, variam em função do preço do quilowatt e do consumo de potência da rede elétrica. Se a bateria estiver no modo carregando, a potência fornecida pela rede de distribuição aumenta, uma vez que a concessionária passa a alimentar tanto a bateria como a demanda residencial. Quando o banco estiver descarregando, a rede elétrica fornece menos, ou nenhuma, potência para a residência. Em resumo, o gerenciamento trabalha em cima da potência demandada da rede elétrica, por meio dos modos de operação do banco de baterias de tal forma que, ao final do processo, o custo de energia elétrica seja minimizado. No Brasil, a ANEEL aprovou em 2011 a mudança da estrutura tarifária do segmento de distribuição de energia elétrica adotando a modalidade de Tarifa Branca.

B. Modos de Operação da Bateria

Nesse trabalho será considerado que as perdas no inversor, eficiência na bateria e dispositivos auxiliares ocorrem durante

o carregamento da bateria. Além disso, a convenção de potência da bateria adotada neste trabalho segue a convenção utilizada em trabalhos anteriores [6,11]. Assim, quando a bateria está sendo carregada ($P_{bat}(t) < 0$), a energia consumida pela bateria no instante t considerando $\Delta t = 1$ pode ser calculada como:

$$E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1) - n(t)P_{bat}(t)\Delta t, P_{bat}(t) < 0 \quad (1)$$

$$n(t) = 0.898 - \frac{0.173|P_{bat}(t)|}{P_{nom}} \quad (2)$$

Onde:

P_{bat} : potência da bateria;

E_{bat} : energia remanescente na bateria;

$n(t)$: eficiência no carregamento da bateria;

P_{nom} : potência nominal da bateria.

Quando a bateria está sendo descarregada ($P_{bat}(t) > 0$), a energia fornecida pela bateria no instante t considerando $\Delta t = 1$ pode ser calculada como:

$$E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1) - P_{bat}(t)\Delta t, P_{bat} > 0 \quad (3)$$

Já quando a bateria opera em modo ocioso ($P_{bat}(t) = 0$), a energia da bateria não é alterada com o decorrer do tempo, e portanto:

$$E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1) \quad (4)$$

C. Formulação do Problema

Neste trabalho, o gerenciamento do consumo de energia resume-se em determinar como os modos de operação da bateria devem ser chaveados de modo a minimizar o custo de energia satisfazendo todas as restrições do sistema, dado o perfil de demanda e a curva da Tarifa Branca.

O custo total de energia é dado pelo produto da tarifa de energia pela potência entregue pela rede durante um intervalo de tempo T , expresso por:

$$C_{total} = \sum_{t=1}^T Tr \times P_{rede}(t) \quad (5)$$

Onde:

Tr : tarifa de energia (R\$/kWh);

Em relação a restrições de operação da bateria tem-se que a bateria não pode armazenar uma quantidade de energia superior a sua capacidade máxima. Além disso, se a mesma for operada com uma quantidade de energia abaixo do nível mínimo, pode significar diminuição da vida útil ou até perda total da bateria. Portanto:

$$E_{bat}^{min} \leq E_{bat}(t) \leq E_{bat}^{max} \quad (6)$$

Outra restrição refere-se a taxa de descarregamento. Por segurança, a bateria não pode ser carregada ou descarregada com potências que excedam os valores máximos e mínimos, evitando danos à bateria, ou seja:

$$P_{bat}^{min} \leq P_{bat}(t) \leq P_{bat}^{max} \quad (7)$$

Existe ainda uma restrição com relação a lei de conservação da energia, onde a potência consumida pela residência deve ser igual a potência entregue pela rede elétrica e bateria.

Assim:

$$P_{rede}(t) = P_{res}(t) - P_{bat}(t) \quad (8)$$

onde P_{rede} é a potência entregue pela rede (concessionária) e P_{res} é a potência consumida pelo sistema residencial.

D. Algoritmo Recozimento Simulado

A técnica de Recozimento Simulado (*Simulated Annealing* - SA) é uma meta-heurística proposta por Kirkpatrick [12]. O método simula o processo de recozimento de metais, em que um material sólido é primeiro aquecido além do seu ponto de fusão e depois é resfriado lentamente até obter uma estrutura cristalina e livre de imperfeições (estado de baixa energia). Se o material for resfriado bruscamente sua estrutura ficará desordenada e instável [13]. Fazendo uma analogia entre o processo de recozimento de metais a um problema de otimização, tem-se que:

- Os estados possíveis de um metal correspondem a soluções do espaço de busca;
- A energia em cada estado corresponde ao valor da função objetivo;
- A energia mínima corresponde ao valor de uma solução ótima local, possivelmente global.

Com base neste princípio, o método de Recozimento Simulado é composto pelos seguintes passos:

Passo 1: Escolha uma solução inicial (X_0) randomicamente. Esta solução passa a ser a solução atual (X) e ótima (X^*).

Passo 2: Selecione aleatoriamente uma solução X' vizinha a X e calcule o valor da variação da função objetivo $\Delta f = f(X') - f(X)$.

Passo 3: Se a variação da função objetivo $\Delta f < 0$, o método aceita o movimento e X' passa ser a solução atual ($X = X'$). Posteriormente, se $f(X') < f(X^*)$, então faz-se $X' = X^*$.

Passo 4: Se a variação da função objetivo $\Delta f \geq 0$, X' poderá ser aceita como solução atual, mas com probabilidade e $(-\Delta f / T)$, na qual T é a temperatura (estabelecida pelo usuário) que regula a probabilidade de aceitar soluções ruins.

Passo 5: Verificar se a temperatura do sistema é maior que zero, em caso afirmativo, retorna-se ao passo 2 e a busca continua até que a temperatura fique menor que zero. Ao final, a melhor solução encontrada para o problema proposto está contida na variável solução final (X^*). Esta solução contém a matriz que representa a melhor topologia virtual encontrada para a rede.

IV. RESULTADOS

Neste trabalho dois casos foram analisados. Primeiramente as simulações foram realizadas sem o gerenciamento da demanda, considerando para efeito de comparação, a aplicação da Tarifa Convencional e da Tarifa

Branca instituída pela ANEEL. Após isto, fez-se o gerenciamento da demanda com o método de Recozimento Simulado, utilizando a bateria e aplicando a Tarifa Branca. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

A. Considerações

Para aplicação do método proposto, algumas considerações são feitas. Parte-se do suposto que a distribuidora fornece energia ininterruptamente para a residência, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Além disso, considera-se que a rede elétrica é capaz de, ao mesmo tempo, fornecer energia para a residência e bateria. Analogamente, a rede elétrica e bateria podem fornecer, simultaneamente, energia para a residência.

O período de simulação considerado é de uma semana, ou seja, 168 horas. A curva de carga semanal utilizada é apresentada na Fig 4. Como seria impossível considerarmos um perfil de carga exatamente igual em todos os dias da semana, foi aplicado um distúrbio de 5% na curva de carga durante os dias da semana e no fim de semana foi suposto um consumo reduzido da energia.

Nas simulações, considera-se ainda que:

- A capacidade máxima da bateria (E_b^{max}) é de 50kWh. Além disso, um mínimo (E_b^{min}) de 10kWh deve ser retido para evitar danos à bateria e consequente diminuição da vida útil;
- Os limites de carregamento (P_b^{min}) e descarregamento (P_b^{max}) são -16kW e 16kW respectivamente;
- A carga inicial da bateria (E_{b0}) é de 80% da capacidade máxima, ou seja, 40kWh;
- Os valores da Tarifa Branca seguem a Resolução N° 1.578 de 6 de agosto de 2013 que homologa as tarifas de energia elétrica à Centrais Elétricas do Pará (Celpa) [14]. Considerando a residência pertencente ao grupo B, subgrupo B1, classe residencial, as tarifas adotadas são apresentadas conforme a Tabela I.

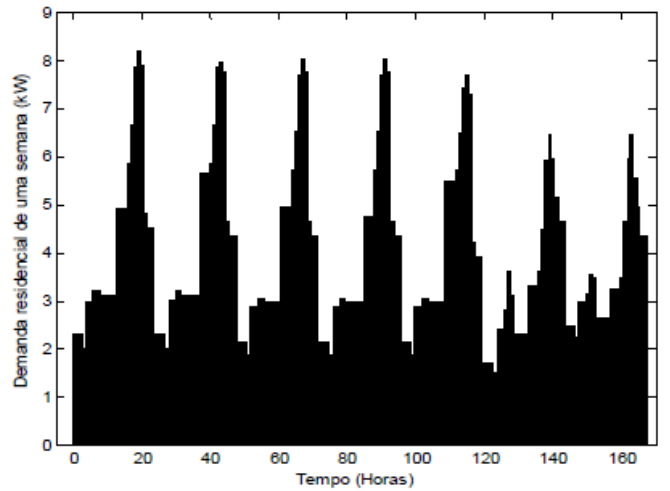


Figura 4. Curva de carga semanal

Tabela I. TARIFAS PARA O GRUPO B (CELPA)

Subgrupo	Modalidade	Posto	Tarifas (R\$/kWh)
B1	Tarifa Branca	Ponta	0,76766
		Intermediário	0,48221
		Fora de Ponta	0,29263
	Tarifa Convencional	---	0,35747

B. Resultados sem o gerenciamento da demanda

Nesta simulação, a bateria não foi utilizada e o gerenciamento de energia também não foi aplicado. Assim, a rede elétrica atende toda a demanda residencial. Isto é análogo a considerar a bateria operando em modo ocioso durante todo o processo, ou seja, $P_{bat}(t) = 0$.

O custo de energia foi então calculado aplicando tanto a Tarifa Convencional quanto a Tarifa Branca, para efeito de comparação, sem realizar o gerenciamento da demanda, ou seja, mantendo a mesma curva de carga conforme Fig. 4.

O resultado obtido nesta simulação pode ser observado na Fig. 5. Nota-se que o custo de energia elétrica da residência aumenta com a aplicação da Tarifa Branca, isto porque o consumo de energia permaneceu o mesmo, ou seja, não houve descolamento do período de ponta para o período de menor tarifa. Segundo (ANEEL 2013), a Tarifa Branca não é recomendada se o consumo for maior nos períodos de ponta e intermediário, e se não houver possibilidade de transferência do uso dessa energia elétrica para o período fora de ponta. De fato, os resultados confirmam que a aplicação da Tarifa Branca não é positiva para o consumidor residencial caso o mesmo não esteja disposto a realizar o deslocamento da carga.

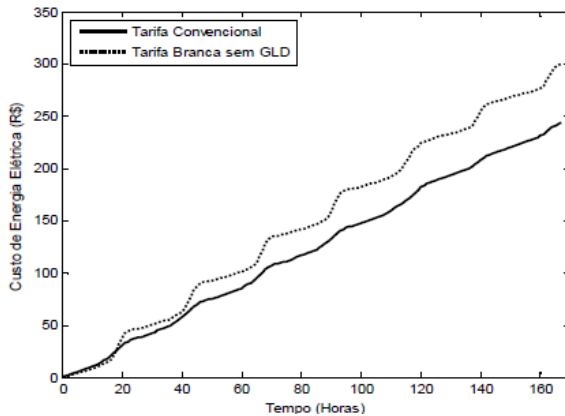


Figura 5. Comparativo do custo de energia semanal utilizando a tarifa convencional e a tarifa branca sem o gerenciamento da demanda.

C. Resultados com o gerenciamento da demanda

Nesta simulação, a bateria foi utilizada para efetuar o gerenciamento de energia através do método de Recozimento Simulado. Na Tabela II são apresentados os valores ótimos encontrados para os parâmetros σ_d e σ_c . Verifica-se que o método obteve os valores ótimos destes parâmetros bem antes de atingir o valor máximo de avaliações da função objetivo.

Tabela II. PARÂMETROS ÓTIMOS ENCONTRADOS

Parâmetros	σ_c	σ_d	C_{total}
Valores	0,3026	0,4977	R\$210,80

As Figs. 6 e 7 ilustram a potência fornecida pela rede e bateria com a aplicação do método proposto. Nota-se que durante o período onde a tarifa de energia é mais cara (18hs-22hs) a rede elétrica não fornece energia para a residência. Neste período a energia residencial é suprida pela bateria. Notam-se também picos na potência fornecida pela rede, que está simultaneamente carregando a bateria e fornecendo energia para a residência. Estes picos ocorrem quando a tarifa de energia é mais barata e a demanda da residência é menor. Às 23 horas da segunda feira já observamos este cenário, onde a potência da rede atinge 20,5kW.

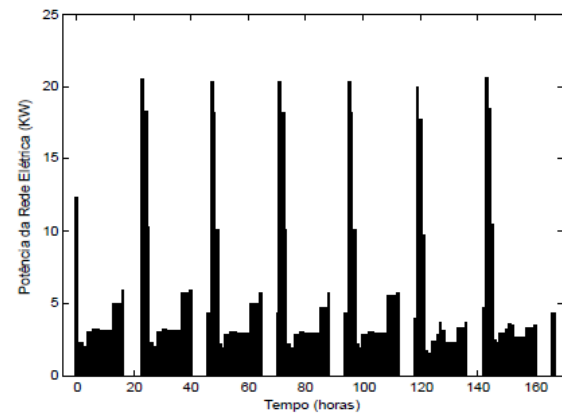


Figura 6. Potência fornecida pela rede elétrica

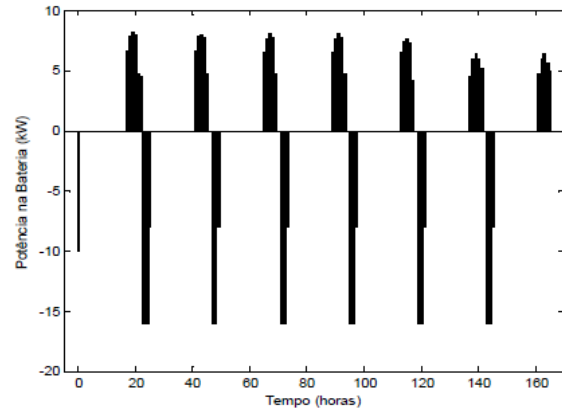


Figura 7. Potência consumida/fornecida pela bateria

A Fig. 8 ilustra a curva do custo de energia total do sistema aplicando o gerenciamento da demanda através do uso da bateria. No gráfico é possível acompanhar a evolução dos gastos com o consumo de eletricidade do sistema operando nas três modalidades. Nota-se que com o gerenciamento da demanda o uso da Tarifa Branca reduz os custos de energia consideravelmente.

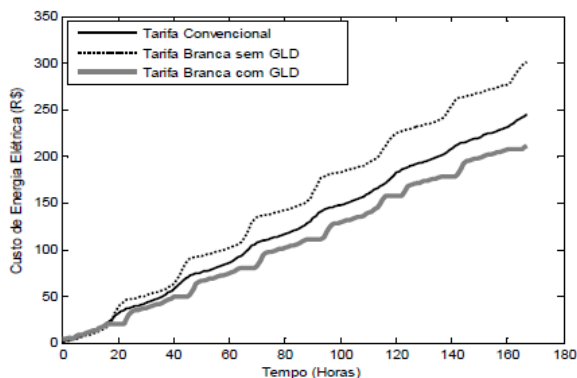


Figura 8. Comparativo do custo da energia semanal utilizando a tarifa convencional e a tarifa branca com e sem o gerenciamento da demanda.

A Tabela III apresenta o custo de energia ao longo de um mês considerando as três possibilidades. Os resultados mostram que, partindo da Tarifa Convencional, ao adotar a Tarifa Branca e efetuar o gerenciamento da demanda através do uso da bateria, o consumidor teria uma economia de energia de R\$ 134,40 ao longo de um mês. Por outro lado, partindo da Tarifa Convencional, a aplicação da Tarifa Branca sem gerenciamento do consumo ofereceria ao consumidor um acréscimo de R\$ 224,00 na conta de energia.

Tabela III. CUSTO DE ENERGIA MENSAL

Método	Custo Total (R\$)	Economia (R\$)
Tarifa Convencional	977,60	---
Tarifa Branca sem GLD	1201,60	-224,00
Tarifa Branca com GLD	843,20	134,40

Assim, pode-se concluir que só é vantajoso utilizar a Tarifa Branca em relação a tarifa convencional quando é feito o deslocamento do consumo da rede elétrica do período de ponta para o período fora da ponta, onde a tarifa de energia é mais barata. Do contrário, a utilização da Tarifa Branca fica bastante inviável para o consumidor residencial.

Vale salientar que este estudo não contempla o custo de aquisição da bateria. Neste sentido, para obter uma análise econômica mais detalhada, o tempo de retorno do investimento deve ser considerado.

Destaca-se ainda que no método proposto, devido a utilização da bateria, não foi necessária a alteração do perfil do consumidor em termos de hábitos diários, como realizar determinadas atividades em horários com tarifa de energia mais baixa. O deslocamento do consumo de energia elétrica para horários fora da ponta deu-se pelo uso da bateria de forma ótima.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs uma ferramenta para gerenciar a demanda de um sistema residencial através do método de Recozimento Simulado utilizando uma bateria.

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. Com a aplicação do gerenciamento da demanda pelo uso da bateria e utilização da Tarifa Branca implementada pela ANEEL, o

consumo de energia elétrica foi deslocado do período de ponta para o período de menor procura e, com isso, obteve-se a redução de gastos na conta de energia elétrica.

Foi possível também verificar o impacto negativo que a Tarifa Branca terá para o consumidor residencial, caso o mesmo não esteja disposto a realizar o gerenciamento do seu consumo.

REFERENCIAS

- [1] C.W. Gellings, "The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities", Proceedings of the IEEE, New York, v. 73, n. 10, p. 1468-1470, Oct 1985.
- [2] L.A.F. Manso; A.M.L. Silva, "Avaliação de Programas de Gerenciamento da Demanda do ponto de Vista da Confiabilidade", Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Brasília, 2002.
- [3] J. Xiao, J. Y. Chung, J. Li, R. Boutaba, J. Won-Ki Hong, "Near Optimal Demand-Side Energy Management Under Real-time Demand- Response Pricing", International Conference on Network and Service Management, Niagara Falls, pp. 527-532, 2010.
- [4] F. Fernandes, T. Sousa, M. Silva, H. Morais, Z. Vale, P. Faria, "Genetic Algorithm Methodology applied to Intelligent House Control," IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications In Smart Grid, Paris, França, pp. 1-8, 2011.
- [5] L. C. Siebert, A. R. Aoki, E. K. Yamakawa, F. O. Toledo, "Gerenciamento pelo Lado da Demanda em Redes Inteligentes Utilizando Algoritmos Genéticos", IV SBSE – Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012.
- [6] Ting Huang, Derong Liu, "Residential energy system control and management using adaptive dynamic programming", IEEE Conference on Neural Networks (IJCNN), Califórnia, pp. 119-124, 2011.
- [7] M.V. Pilar Alcantara, L.C. Pereira da Silva, D. Geraldi, "Energy efficiency in smart grids", Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), pp. 1-8, 2013.
- [8] ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Tarifa branca. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=781>.
- [9] C. W. Gellings, J. H. Chamberlin, "Demand Side Management: Concepts and Methods", Fairmont Pr, 2nd Edition, Fairmont, 1993,
- [10] D. R. Limaye, "Implementation of Demand-Side Management Programs", IEEE Proceedings, vol. 73, p. 1503 – 1512, 1985.
- [11] A. G. Bakirtzis, P. S. Dokopoulos, "Short term generation scheduling in a small autonomous system with unconventional energy sources", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, No. 3, 1988
- [12] S. Kipkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi, "Optimization by Simulated Annealing", Science, New Series, v. 220, p. 671-680, 1983.
- [14] Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Homologatória: Tarifas de Energia e Tarifas do Uso da Distribuição referentes à Centrais Elétricas do Pará – CELPA. Resolução n. 1578, de 6 de agosto de 2013.