



GRUPO - 14

GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DA GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA - GET

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE TERMOACUMULAÇÃO PARA APLICAÇÃO DE TÉCNICA DE GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO UNIVERSITÁRIA

Zaire A. F. Souza (*)
UFPA

Jorge H. Angelim
UFPA

Carolina M. Affonso
UFPA

RESUMO

Este trabalho propõe uma ferramenta que pode ser utilizada para aplicação real do gerenciamento da energia elétrica pelo lado do consumidor, sobretudo no contexto das redes elétricas inteligentes. A ferramenta se refere ao termoacumulador de água gelada utilizando em conjunto com chillers de compressão em uma instalação com grande demanda de potência de refrigeração para climatização de ambientes. São apresentados resultados em ambiente de simulação computacional relativos ao estudo de caso realizado no sistema teste da cidade universitária da Universidade Federal do Pará – UFPA, considerando os impactos ocorridos na referida rede de distribuição.

PALAVRAS-CHAVE

Gerenciamento pelo Lado da Demanda, Armazenamento Energético, Resposta à Demanda.

1.0 - INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial, o aparecimento de novos centros de consumo, a eletrificação de produtos e a automação de serviços básicos somados ao fato de grandes restrições da expansão dos sistemas de geração de energia tradicionais, deixam claro que a demanda por energia elétrica cresce de modo desproporcional à capacidade de expansão da geração de energia. Neste contexto, são justificadas as constantes mudanças que vem sofrendo o sistema de energia.

Uma primeira alteração de paradigma iniciou-se por volta da década de 80 com a introdução do conceito de produtor independente, para acomodar a vantagem econômica de novos equipamentos de geração, que evoluiu para propostas de reestruturações completas do setor elétrico, as quais foram implantadas em vários países, com maior ou menor intensidade (1). Uma novidade importante foi à utilização de geração distribuída, particularmente conectada ao sistema de distribuição e utilizando fontes de energia alternativas e renováveis, como: eólica, solar, biomassa, entre outras, embora ainda com limitada capacidade de geração e competição do ponto de vista econômico. O referido processo de reestruturação do setor elétrico apresenta-se como irreversível na maioria de suas modificações, embora suas vantagens sejam discutíveis sobre vários aspectos.

Em virtude do mencionado, 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. Assim, nasce o conceito de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), que é um conjunto de ações de planejamento e monitoração de atividades que influenciam na forma de uso da eletricidade dos consumidores, de tal maneira que ocorram alterações desejadas nas curvas de carga das empresas de energia elétrica (2). O GLD, embora seja um tema discutido a mais de 20 anos, recebe com o advento da Smart

(*) Laboratório de Engenharia Elétrica – Anexo I – sala 01 – Cidade Universitária, Campus Profissional – CEP 66075-101 Belém, PA – Brasil – Tel: (+55 91) 98010-3606 – Email: souzazaire@gmail.com

Grid (SG), através de sistemas automáticos de controle e supervisão e de novas soluções de Tecnologia da Informação (TI), o impulso necessário para a efetividade de suas ações.

Como mostram (3), (4) e (5) a utilização de sistemas de armazenamento de energia é uma forma eficiente de aplicar o GLD em redes de distribuição. As tecnologias de armazenamento também são capazes de corrigir os perfis de tensão da carga proporcionando um rápido controle de potência reativa e permitindo, portanto, que as usinas mantenham o balanço com a carga do sistema e sua velocidade normal (6). O armazenamento de energia também pode ser visto como uma ferramenta para aumentar a estabilidade do sistema (7), contribuir para o fluxo de potência, aprimorando a qualidade do serviço (8) e viabilizar a resposta à demanda em tempo real (9).

2.0 - ARMAZENAMENTO TÉRMICO

O sistema de armazenamento térmico é composto por um chiller de compressão e um tanque termoacumulador. Os chillers de compressão utilizam um compressor mecânico, acionado por um motor elétrico, de tal forma a aumentar a pressão em determinada fase de seu ciclo termodinâmico. Este elemento representa o principal componente das centrais de água gelada (CAG) que são compostas também por bombas, torres de resfriamento, válvulas, quadros elétricos, redes de dutos e tubulações e os fancoils. Estes últimos devem ser localizados nas proximidades do ambiente que será condicionado a fim de reduzir perdas de carga nos sistemas de dutos.

Os chillers operam no ciclo de compressão de vapor, em que um fluido de trabalho é forçado a mudar repetidamente de fase, absorvendo ou liberando calor no processo. A Figura 1 mostra um gráfico da temperatura do fluido e da entropia específica ao longo do ciclo, que é constituído por quatro fases distintas (10).

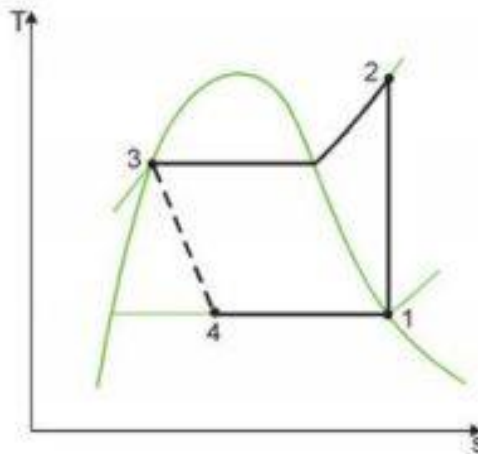


Figura 1 – Temperatura x Entropia.

No estado 1, o fluido de trabalho é um vapor saturado. À medida que passa através do compressor, a pressão do fluido aumenta, chegando em 2 como um vapor superaquecido. O vapor superaquecido passa através do condensador, o fluido torna-se um líquido saturado, no estado 3. Este líquido é estrangulado por meio de uma válvula de expansão que passa para uma mistura de líquido e vapor, no estado 4 (11). Já os sistemas de termoacumulação operam com calor sensível (tanque de água) ou calor latente (tanque de gelo). Os sistemas de calor sensível requerem maiores diferenças de temperatura, necessitando de maior quantidade de massa por unidade de energia armazenada, elevando consideravelmente o seu volume. Os que operam com calor latente possuem maior capacidade de armazenamento, mas apresentam problemas nos processos de transferência de calor (11).

Tendo cargas de aquecimento e resfriamento de curta duração, o processo de termoacumulação se torna atrativo do ponto de vista econômico, podendo armazenar energia térmica, suprimindo a energia em horas de pico quando o custo energético é mais elevado (10) e (11).

2.1 Modelagem do chiller

Os chillers de compressão utilizam o compressor mecânico acionado por um motor elétrico, de forma a aumentar a pressão no estado 1 do ciclo termodinâmico (12). O modelo matemático do Chiller precisa receber de entrada, o coeficiente de desempenho do processo de conversão (COP) e a potência de compressão (Q_e) dada em kW para cada hora do dia em que o Chiller estiver ligado à rede. A saída será a potência elétrica efetivamente consumida pelo Chiller de compressão a cada instante do dia em que mesmo estiver em operação. A equação (1) mostra a referida relação (12).

$$W_e(t) = \frac{Q_e(t)}{COP} \quad (1)$$

2.2 Modelagem do termoacumulador

O termoacumulador é um dispositivo que armazena energia termica na forma de calor (sensível ou latente). Este dispositivo permite aumentar a flexibilidade do controle de operação em processos industriais ou em qualquer setor que faça uso extensivo desta energia térmica (11). No chiller de compressão o frio é produzido diretamente com o uso da energia elétrica onde parte é diretamente consumido pela carga térmica e parte é direcionada para o termoacumulador.

O modelo matemático do termoacumulador depende dos seguintes parâmetros: potencia de frio vinda do chiller de compressão (Q_e) em kW, o comportamento da carga térmica (Q_t) em kW, massa do reservatório (m_r) em kg, o calor específico da água (C_{pa}) em kJ/KgK, o calor específico do gelo (C_{pg}) em kJ/KgK, temperatura de fusão da água (T_f) em °C entalpia de sólido e liquido do gelo (h_{sl}) em kJ/KgK e a temperatura inicial do reservatório (T_o). Como resposta tem-se a temperatura final do reservatório. As equações do modelo são apresentadas a seguir (12).

$$Q_t = f(t) \quad (2)$$

$$Q_e = f(t) \quad (3)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_t(t) - Q_e(t)}{m_r C_{pa}} \quad (4)$$

$$T_{n+1} = T_n + \frac{\Delta t}{2} \left[\frac{dT}{dt}_t + \frac{dT}{dt}_{t+\Delta t} \right] \quad (5)$$

$$T_{R1} = T + T_o - T_f \quad (6)$$

$$T_V = -\frac{h_{sl}}{C_{pa}} \quad (7)$$

$$T_{R2} = T_V - T_{R1} \quad (8)$$

$$T_S = -T_{R2} \frac{C_{pa}}{C_{pg}} \quad (9)$$

Como se pode notar, a potencia de refrigeração (Q_e) e a carga termica (Q_t) são representadas, de modo simplificado, em função do tempo. No modelo, considerou-se uma medição de potencia da unidade consumidora em questão ocorrida no período de duas semanas. Ao termino da medição, considerou-se a média da potencia consumida como o modelo típico da carga do sistema, conforme foi estabelecido em (13).

No termoacumulador de água fria podem ocorrer três situações distintas dependendo se a temperatura do reservatório está acima, igual ou abaixo da temperatura de fusão da água. Na primeira situação existe apenas água líquida no reservatório, na segunda coexiste água nas fases sólida e líquida e por ultimo pode ocorrer apenas água na fase sólida.

Na primeira situação, o calor retirado pela potência resultante da diferença entre a carga térmica e a potencia de refrigeração gerada pelo chiller de compressão não é suficiente para provocar mudança de fase no termoacumulador, ou seja, a temperatura do reservatório é maior que a temperatura de fusão da água. Desta forma a potencia agregada ao sistema é proporcional a variação de temperatura mostrada na equação (4). Aplicando o método de integração numérica de Euler modificado, a nova temperatura será determinada pela equação (5). Assim a temperatura do reservatório (T_{ac}) será a temperatura inicial mais a temperatura dada pela integral numerica da equação (4), isto pode ser observado substituindo a equação (6) na equação (10).

Se $T > T_f$

$$T_{AC} = T_f + T_{R1} \quad (10)$$

Na segunda situação, o calor retirado pela potência resultante da diferença entre a carga térmica e potencia térmica gerada pelo Chiller é suficiente para provocar a mudança de fase no termoacumulador, mas não provoca o resfriamento do gelo, neste caso a temperatura do reservatório será igual à temperatura de fusão do gelo, como mostra a equação (12)

Se $T = T_f$

$$T_{AC} = T_f \quad (11)$$

Por fim, na terceira situação, o calor retirado pela potência resultante da diferença entre a carga térmica e potencia térmica gerada pelo Chiller é suficiente para provocar a mudança de fase completa no termoacumulador, isto é, o gelo começa a ser resfriado. Quando isto acontece é calculada a temperatura virtual auxiliar através do calor específico da água e da entalpia de sólido líquido, conforme a equação (7). Ao subtrair da temperatura virtual a temperatura inicial é obtida a temperatura T_{R2} (ver equação (8)). Por fim é calculada a temperatura de mudança de fase conforme a equação (9). Neste caso, a temperatura do termoacumulador será calculada como na equação (12).

Se $T < T_f$

$$T_{AC} = T_f + T_s \quad (12)$$

2.3 Sistema Teste

O estudo de caso foi realizado no modelo expresso em diagrama unifilar relativo ao sistema real do campus universitário da Universidade Federal do Pará (UFPA), conforme mostra a referencia (13). O campus Prof. José de Silveira Neto, conhecido como “Campus Universitário do Guamá”, localizado na cidade de Belém/PA, as margens do rio Guamá, é identificado pela concessionária de distribuição de energia elétrica local como Unidade Consumidora (UC) 19. Considerada a principal UC de energia elétrica da UFPA a UC-19 engloba 84 unidades acadêmicas e administrativas ao longo do campus e tem seu fornecimento em 13,8 kV, alimentada através da subestação Guamá para todos os ramais do sistema (14).

O contrato atual de fornecimento de energia da UC-19 estabelece a opção pela Tarifa Horó-Sazonal Verde, com uma demanda contratada de 5900 kW e sobre o valor do contrato é admitido uma tolerância de 5% para aplicação da tarifa normal, a Tabela 1 mostra o modelo tarifária adotado já a Tabela 2 (12) mostra os parâmetros do sistema de refrigeração adotados para as simulações no domínio do tempo (15). A curva de carregamento que expressa a dinâmica da carga das barras 42 e 49, considerando a média de duas semanas de medição como mostra (13), pode ser observada na Figura 2. A mesma Figura mostra a carga térmica em kW das mesmas barras. Estes barramentos foram escolhidos por representarem os blocos de aula do campus básico e profissional respectivamente.

Tabela 1 – Tarifa Horó-Sazonal Verde para o subgrupo A4 (Poder Público)

Tarifa Horó-Sazonal Verde		
Subgrupo	Consumo (R\$/kW)	
A4 - Poder Publico	Ponta	Fora de Ponta
	2,25626	0,28959

Tabela 2 – Dados de entrada do sistema de refrigeração e termoacumulação.

Parâmetro	Valor	Unidade
Termoacumulador		
Calor específico da água	4,19	kJ/kg.K
Temperatura de fusão da água	0	°C
Temperatura inicial do reservatório	5	°C
Calor específico do gelo	2,04	kJ/kg.K
Entalpia de sólido-líquido do gelo	337	kJ/kg.K
Massa total de água fria no armazenador	1000	kg
Chiller		
COP do chiller	1,05	
Potência nominal	150	kW

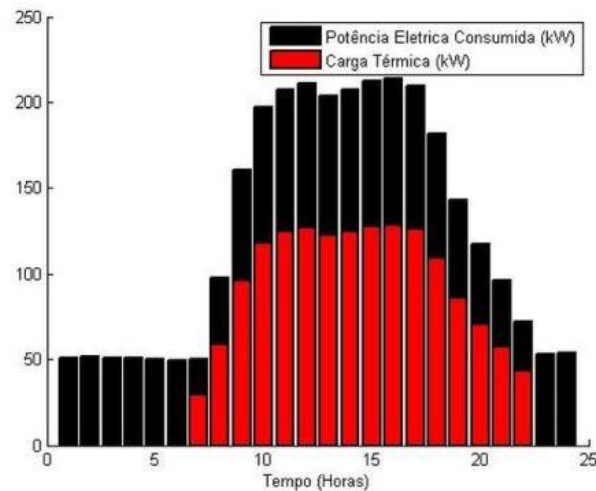


Figura 2 – Curva de demanda de um dia típico.

3.0 - METODOLOGIA

Para realização dos estudos e obtenção dos resultados, a toolbox PSAT (Power System Analyses Toolbox) foi utilizada para o cálculo do fluxo de carga e a ferramenta MATLAB para simulação no domínio do tempo e sincronização com os resultados do programa PSAT. Por outro lado, a fim de analisar as respostas em diferentes situações possíveis de operação, foram propostos três cenários. As simulações foram realizadas em intervalos de 10 minutos durante as 24 horas do dia, assim o modelo computacional possui 144 amostras do sistema teste. O caso base representa o sistema sem nenhum tipo de gerenciamento. O primeiro cenário considera a operação do termoacumulador para atender aos picos de carga da UC-19 nos horários de 12:00 às 16:00, conforme a Figura 3. O segundo cenário considera o termoacumulador reduzindo o pico de demanda do sistema como um todo, e não somente da UC-19, ou seja, entre os horários de 18:00 e 20:00.

O controle do sistema foi realizado por meio de chavamento simples, como ilustra a Figura 3.

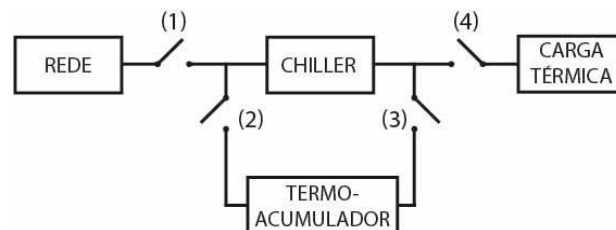


Figura 3 – Controle proposto para o sistema em estudo.

No cenário 1, com o termoacumulador atendendo a carga térmica durante o pico das barras 42 e 49 da UC-19, o controle é acionado da seguinte forma:

1. Entre 00:00 e 07:00 o chiller está ligado a rede elétrica para fornecer o frio para o termoacumulador. As chaves 1, 2 e 3 estão fechadas e a chave 4 está aberta haja vista que neste horário a carga térmica dos blocos de aula (barras 42 e 49) é nula.
2. Entre 07:10 e 11:00 o chiller que continua ligado à rede, está atendendo tanto à carga térmica dos blocos de aula como o termoacumulador. Neste caso, todas as chaves estão fechadas.
3. Entre 11:10 e 18:00 o chiller é desligado da rede e a carga térmica passa a ser atendida pelo termoacumulador. Agora a chave 1 está aberta e as demais estão fechadas.
4. Entre 18:10 e 20:00 que representa o horário de ponta do sistema, a carga térmica já está reduzindo e o chiller volta a ser ligado a rede atendendo somente a carga térmica das salas de aula. Desse modo as chaves 1 e 4 estão fechadas e as chaves 2 e 3 estão abertas.
5. Por fim, o termoacumulador será ligado novamente a rede pelo chiller as 00:00 quando não houver mais carga térmica no prédio. Portanto as chaves 1, 2 e 3 voltam a fechar e a chave 4 volta a abrir.

No cenário 2, com o termoacumulador atendendo a carga térmica durante o pico de demanda do sistema de potência, tem-se:

1. Entre 00:00 e 07:00 não há carga termica e nem necessidade de ligar o termoacumulador, pois o pico da demanda ocorre somente a partir de 18:00. Todas as chaves estão abertas.
2. Entre 07:10 e 12:00 o chiller atende somente a carga termica, como de costume. Assim, as chaves 1 e 4 estão fechadas e a chaves 2 e 3 estão abertas.
3. Entre 12:10 e 18:00 o chiller estará tando atendendo a carga termica quanto alimentando o termoacumulador. Neste caso todas as chaves estarão fechadas.
4. Por fim, entre 18:10 e 23:00 o termoacumulador atenderá a carga termica e o chiller estará desligado da rede. A chave 1 estará aberta e as demais fechadas.

4.0 - RESULTADOS

Realizada a simulação dos cenários propostos no item anterior, a Figura 4 mostra a potencia consumida pelas barras 42 e 49 no decorrer do dia. A Figura 5 mostra o perfil de tensão da barra 42 ao longo do dia. Com os resultados obtidos, realizou-se a comparação dos cenários. A primeira análise se refere a resposta do sistema para cada cenário proposto do ponto de vista dos impactos sofridos pela rede. A segunda se refere a análise economica da utilização do termoacumulador. A Figura 6 (a) mostra a variação da temperatura de entrada do termoacumulador e a Figura 6 (b) mostra a variação da temperatura na saída do termoacumulador, essa temperatura é a mesma do ambiente que se está refrigerando. A Tabela 3 apresenta os custos de cada um dos cenários propostos.

Tabela 3 – Custo diário de operação da UC-19 para os cenários propostos.

Período	Hora	Caso Base		Cenário 1		Cenário 2	
		Consumo (kWh)	Consumo (R\$)	Consumo (kWh)	Consumo (R\$)	Consumo (kWh)	Consumo (R\$)
Fora de Ponta	0	1284,53	371,99	1442,03	417,60	1284,53	371,99
	1	1279,86	370,63	1437,36	416,25	1279,86	370,63
	2	1266,19	366,68	1423,69	412,29	1266,19	366,68
	3	1262,48	365,60	1419,98	411,21	1262,48	365,60
	4	1255,37	363,54	1412,87	409,15	1255,37	363,54
	5	1248,48	361,55	1405,98	407,16	1248,48	361,55
	6	1162,21	336,56	1319,71	382,17	1162,21	336,56
	7	1469,29	425,49	1626,79	471,10	1469,29	425,49
	8	2526,94	731,78	2684,44	777,39	2526,94	731,78
	9	3387,83	981,08	3545,33	1026,69	3387,83	981,08
	10	3753,98	1087,12	3911,48	1132,73	3753,98	1087,12
	11	3956,60	1145,79	3832,10	1109,74	3956,60	1145,79
	12	3799,57	1100,32	3672,86	1063,62	3957,07	1145,93
	13	3672,85	1063,62	3550,67	1028,24	3830,35	1109,23
	14	3799,18	1100,20	3674,81	1064,19	3956,68	1145,81
	15	3797,42	1099,69	3669,87	1062,76	3954,92	1145,31
	16	3470,44	1005,00	3342,04	967,82	3627,94	1050,62
	17	2994,55	867,19	2868,69	830,74	3152,05	912,80
Ponta	18	2395,03	5403,81	2395,03	5403,81	2285,90	5157,58
	19	2052,28	4630,48	2052,28	4630,48	1966,54	4437,02
	20	1716,95	3873,89	1716,95	3873,89	1646,75	3715,49
Fora de Ponta	21	1463,21	423,73	1463,21	423,73	1405,66	423,73
	22	1317,70	381,59	1317,70	381,59	1274,42	381,59
	23	1297,38	375,71	1297,38	375,71	1297,38	375,71
Custos (R\$)	Fora de Ponta		14.324,88		14.571,87		14.598,54
	Ponta		13.908,17		13.908,17		13.310,08
	Total		28.233,05		28.480,05		27.908,62

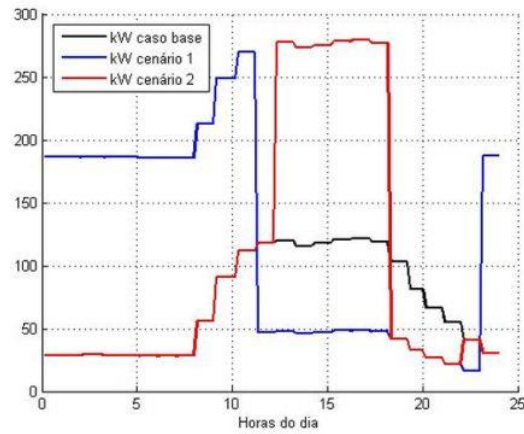


Figura 4 – Comparação da potencia consumida na barra 42 e 49 (blocos de aula) em cada cenário.

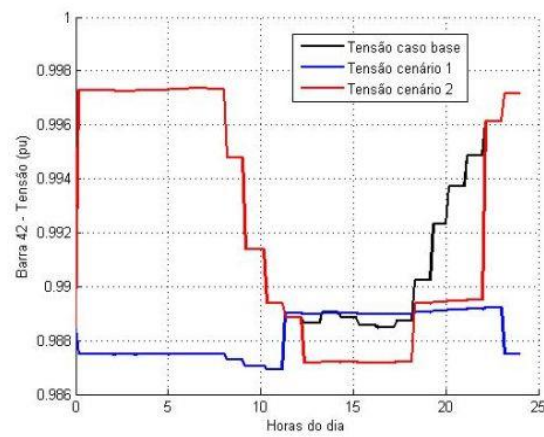


Figura 5 – Comparação da tensão em p.u. consumida na barra 42 em cada cenário.

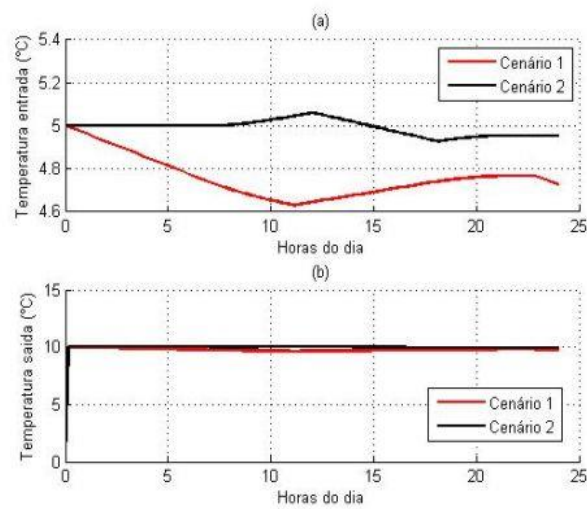


Figura 6 – (a) Variação da temperatura de entrada do termoacumulador; (b) Variação da temperatura de saída do termoacumulador.

5.0 - CONCLUSÃO

Assim como proposto, os resultados mostraram que de fato a potência consumida nas barras que possuem armazenamento podem ser realocadas na curva de carregamento a fim de se utilizar de maneira mais eficiente a potência consumida. A variação da tensão provocada na rede foi pequena e insuficiente para provocar algum distúrbio considerável, indicando que a utilização do sistema de termoacumulação no sistema teste é segura do ponto de vista da estabilidade da tensão da rede. Por outro lado, nem sempre a operação mais tecnicamente segura representa aquela que é economicamente mais atrativa, neste caso, isso depende muito das tarifas aplicadas haja vista que no sistema se utiliza a tarifa Horo-sazonal verde. A Tabela 3 mostra que o cenário 1 apesar de apresentar uma variação de tensão menor, e um consumo de potência menor da rede já que neste caso o termoacumulador atende a carga por mais tempo, o custo de operação do sistema é maior, cerca de 0,9% ao dia, ou seja, em um mês o sistema gastará cerca de R\$ 7410,00 a mais. Já o cenário 2 apresenta uma economia de cerca de 1,15% ao dia para a UC-19, isto significa uma economia de cerca de R\$ 9750,00 ao mês. O usuário não perceberá a diferença ao utilizar as instalações dos blocos de aula, isso fica claro na Figura 6 (b), onde é possível perceber que não há diferença do atendimento a carga térmica, pois a temperatura do ambiente refrigerado permanece constante.

O modelo computacional se mostrou consistente e está sendo usado para estudos variados em diferentes cenários do gerenciamento pelo lado da demanda. Com um banco de dados robusto, serão realizados novos testes que possibilitem otimizar a ferramenta para que possa ser usada na prática como forma de gerenciamento da energia em uma microrrede real.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Hunt, S., Shuttleworth, G. *Competition and Choice in Electricity*, Chichester: Wiley, 1996.
- (2) Gellings, C.W. *The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities*. Proceedings of the IEEE, 1985.
- (3) Hernández, T. K. Uma proposta de integração de geração distribuída, por meio das usinas virtuais, ao Sistema Elétrico do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. 2015.
- (4) King, D. *Electric power micro-grids: opportunities and challenges for an emerging distributed energy architecture*. Ph.D. Thesis. Department of Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA. 2006.
- (5) Perez, F., Souza, P. V. G., Filho, H. K. R., Bonatto, B. D., Motoki, E., Ribeiro, P. F. *Simulação Computacional de Sistemas Fotovoltaicos com Armazenadores de Energia Integrados em Redes Elétricas Inteligentes*. 2015
- (6) Luo, X., Lee, C. K., Ng, W. M., Yan, S., Chaudhuri, B., Hui, S. Y. R. Use of adaptive thermal storage system as smart load for voltage control and demand response. *IEEE Trans. Smart Grid*, Dec. 2016.
- (7) Silva, A. C. *Utilização de Sistemas de Armazenamento de Energia para Melhoria das Condições de Estabilidade de Redes Isoladas*, Tese de Mestrado, MIEEC, FEUP, Porto, 2015.
- (8) Douglass, P. J., Garcia-Valle, R., Nyeng, P., Ostergaard, J., Tøgeby, M. Smart demand for frequency regulation: Experimental results. *IEEE Trans. Smart Grid*, Sep. 2013.
- (9) Verzijlbergh, R. A., Lukszo, Z. Conceptual model of a cold storage warehouse with PV generation in smart grid setting," *Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 2013 10th IEEE International Conference on, Dec. 2013.
- (10) Barbosa, F. F. *Análise computacional de central de água gelada com tanque de termoacumulação*. Projeto de graduação. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica. 2013.
- (11) Stoecker, W. F., Jabardo, J. M. *Refrigeração industrial*. Editora Blucher Ltda, 2ª edição, 2002.
- (12) Melo, N. R. *Simulação e otimização de plantas de microgeração com a utilização de um módulo de configuração de tarefas para a tomada de decisão em demandas variáveis*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Engenharia Mecânica, 2004.
- (13) Silva, A. E. P. S. *Optimal Allocation and Sizing of Photovoltaic Generation using Genetic Algorithms*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2013.
- (14) Matos, E. O. *Análise não paramétrica para identificação de fontes de distorções harmônicas em sistemas de energia elétrica: um estudo aplicado no campus universitário do Guamá da Universidade Federal do Pará*. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2016.
- (15) Disponível em (<http://www.celpe.com.br/poder-publico/informacoes/cobranca-de-tarifas>). Visitado em 19 de Março de 2017.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Zaire de Assis Ferreira Souza, nascido em 1993, é natural de Belém/PA. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 2016. Possui quatro anos de experiência acadêmica dedicada a estudos do planejamento dos Sistemas de Energia Elétrica, além de 5 artigos publicados em anais de congressos nacionais e internacionais. Atualmente atua como mestrando no Grupo de Estudos em Sistemas Elétricos e Instrumentação (GSEI) na UFPA na área de Gerenciamento da Energia pelo Lado da Demanda e Redes Elétricas Inteligentes.



Jorge Henrique Angelim nasceu em Belém do Pará no ano de 1992. Graduiu-se em engenharia elétrica na Universidade Federal do Pará em 2015. Há quatro anos trabalha na área de pesquisa em sistemas elétricos de potência, tendo como foco os impactos da geração distribuída em redes de energia elétrica, análise estática e dinâmica e estabilidade de tensão. Atualmente é mestrando na mesma universidade, pesquisando aspectos técnicos e econômicos de microrredes no contexto das redes inteligentes.



Carolina de Mattos Affonso nasceu em 1976 e é natural de Belém/PA. Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrotécnica pela Universidade Federal do Pará (1997), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2004) com doutorado sanduiche na Universidade de Alberta, Canadá. Atualmente é professor Associado I da Universidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Planejamento da Operação de Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos temas de estabilidade de tensão, otimização de sistemas, geração distribuída e microrredes.