



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

GCE 06
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

**GRUPO XIV
GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – GCE**

**AVALIAÇÃO DE PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENVOLVENDO QUALIDADE DE ENERGIA:
O ESTUDO DE CASO DA COMUSA**

**Taciana de V. Menezes¹ Michel Gonçalves Pinheiro² Marcus Paes Barreto¹ Marco Aurélio R. G. Moreira¹
Luciana D. L. Machado¹ Denise Pereira Barros¹ Paulo da Silva Capella³ Osvaldo Luiz. Cramer de Otero³
Fernando Pinto Dias Perrone¹ George Alves Soares¹ Daniel N. R. Glória⁴**
¹ CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRÁS
² PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. – PETROBRÁS
³ CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL
⁴ CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S.A. - ELETRONORTE

RESUMO

A ELETROBRÁS, por meio do Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental (PROCEL SANEAR), está implementando um projeto de conservação de energia elétrica e água em parceria com a Companhia Municipal de Saneamento de Novo Hamburgo/RS (COMUSA). O projeto tem como metas reduzir: o consumo de energia em 1.828 MWh/ano, a demanda na ponta de 815 kW e as perdas totais de água de 36,43 m³/ano.ligação. O valor do projeto é de R\$ 875 mil, sendo R\$ 700 mil aportados pela ELETROBRÁS. Neste trabalho pretende-se, além de apresentar os resultados de eficiência energética do projeto da COMUSA obtidos até o momento, avaliar o uso de inversores de frequência e *soft-starter* nos diversos setores do sistema de saneamento e a qualidade de energia elétrica antes e depois das intervenções.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência Energética, Saneamento Ambiental, Qualidade de Energia, Inversores de Frequência.

1.0 - INTRODUÇÃO

A energia elétrica é a modalidade de energia mais consumida no país. O consumo crescente, aliado à falta de investimentos no setor de geração, vem diminuindo a distância entre a demanda e oferta, tornando o fornecimento de energia elétrica cada vez mais crítico. Procurar soluções para este problema envolve, por exemplo, a construção de novas usinas hidrelétricas e termelétricas, a conclusão de usinas não acabadas, a importação de gás natural e de energia elétrica de países vizinhos, a implementação de campanhas de combate ao desperdício de energia e o investimento em ações que promovam o aumento da eficiência no uso de energia elétrica (1), (2).

Do ponto de vista do setor elétrico, o uso eficiente de energia elétrica diminui a necessidade de expansão do setor elétrico, postergando investimentos necessários ao atendimento do mercado de energia elétrica. Para os consumidores, as principais vantagens são a redução do gasto com energia elétrica, a otimização dos sistemas presentes na instalação e o marketing associado às idéias de preservação ambiental (1), (2).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (3), atualmente cerca de 3% do consumo total de energia elétrica do Brasil, o equivalente a 8,7 bilhões de kWh/ano, são usados no abastecimento de água e esgotamento sanitário. Estudos preliminares, realizados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), evidenciam que o consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água poderia ser reduzido em pelo menos 20%, considerando o grande potencial existente para a utilização de tecnologias mais eficientes e a necessidade de se acabar com a cultura da abundância e do desperdício de água e energia no setor. O consumo de energia elétrica é, na maioria dos casos, o segundo maior item de custo operacional dos prestadores de serviços de saneamento ambiental, sendo que o primeiro está relacionado às despesas com pessoal (2), (4), (5).

¹ Av. Rio Branco, 53 – 15º andar – centro - CEP 20090-004 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 2514-5718 – Fax: (+55 21) 2514-5767 – Email: taciana.menezes@eletrobras.com

As principais oportunidades de economia de energia elétrica são encontradas nas melhorias de procedimentos operacionais, no dimensionamento dos sistemas, na troca dos equipamentos obsoletos e no uso das tecnologias eficientes. Os conjuntos motobombas são responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica nos sistemas de saneamento, cerca de 90% do total (4), (5). O consumo dos motores elétricos é função direta das condições de operação e manutenção típicas dos sistemas de saneamento básico, que demandarão diferentes performances dos motores. Cabe ressaltar também que o consumo de energia elétrica está diretamente associado ao consumo de água nos serviços de saneamento. Segundo consta no SNIS, o índice de perda de água na distribuição no Brasil é de 44,81% por ano do total de água captada (3). Esta quantidade é suficiente para abastecer a França, a Suíça, a Bélgica e o norte da Itália, juntos por igual período (6). Assim, as ações de combate às perdas de água configuram-se em efetivo potencial de redução.

Em 2003, a ELETROBRÁS criou o Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental (PROCEL SANEAR), que atua de forma conjunta com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) e o Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS), ambos coordenados pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), vinculada ao Ministério das Cidades. O PROCEL SANEAR pretende contribuir com o fortalecimento de um planejamento orientado para o combate ao desperdício de energia elétrica e a universalização dos serviços, com menores custos para a sociedade (7).

O PROCEL SANEAR realizou, em 2003, a “Chamada Pública de Projetos de Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica e Água no Setor de Saneamento Ambiental”, com objetivo de selecionar projetos de conservação e uso racional de energia elétrica e água em sistemas de abastecimento de água para apoio financeiro da ELETROBRÁS/PROCEL e implementação das ações previstas de eficiência energética nos seus sistemas (7).

Foram encaminhados 57 projetos de todo o país e selecionados 12 projetos para implementação. Na seleção dos projetos foram analisadas as relações custo-benefício, o grau de replicação, as metodologias de cálculo dos benefícios e avaliação dos resultados. Dentre os projetos selecionados, tem-se o projeto para redução de perdas de água e energia elétrica da Companhia Municipal de Saneamento de Novo Hamburgo/RS (COMUSA) que envolve intervenções em 8 unidades consumidoras (UC) de energia elétrica. Com um investimento previsto de R\$ 875 mil, dos quais R\$ 700 mil aportados pela ELETROBRÁS, o projeto da COMUSA prevê a redução de 1.828 MWh/ano no consumo de energia elétrica, de 815kW de demanda no horário da ponta, e a diminuição das perdas totais de água de 36,4 m³/ano.ligação, permitindo a melhoria do sistema de distribuição. Para isso, entre outras ações, contempla nas diversas etapas: aquisição e instalação de medidores de grandezas elétricas e hidráulicas para as medições nas unidades consumidoras; sistema de supervisão e aquisição de dados; e inversores de frequência e *soft-starter* nos conjuntos motobombas das unidades consumidoras. O projeto da COMUSA teve início em julho de 2004 com término previsto para junho de 2007.

Considerando que os benefícios previstos pelas intervenções do projeto dependem fundamentalmente do desempenho dos inversores de frequência e *soft-starter*, neste trabalho pretende-se, além de apresentar os resultados de eficiência energética do projeto da COMUSA obtidos até o momento, avaliar o uso desses equipamentos nos diversos setores do sistema de saneamento. Também é avaliada a qualidade de energia elétrica antes e depois das intervenções uma vez que os inversores de frequência e o *soft-starter* podem influenciar a qualidade de energia elétrica nas unidades consumidoras e nos bairros próximos, provocando perda de rendimento dos conjuntos motobombas e interferências eletromagnéticas indesejáveis em outros equipamentos.

2.0 - ESTUDO DE CASO DA COMUSA

2.1 Contextualização

A COMUSA produz em média, em duas Estações de Tratamento de Água (ETA Novo Hamburgo e ETA Integração), 1.870.000 m³/mês (720 l/seg) para abastecer 69.757 economias, com previsão de população atendida de 244.149 habitantes. A reservação de água tratada de 23.550 m³ se dá em 09 reservatórios com capacidade superior a 1.000 m³, 04 reservatórios com capacidade superior a 500 m³ e 08 reservatórios de menor capacidade. O sistema de distribuição de água tratada da COMUSA possui diversos subsistemas em marcha com controle manual ou pressurizados por *boosters* controlados através de temporizadores entre 5:00 h e 24:00 h. O resultado é uma operação diária com picos desnecessários de pressão e vazão nas redes, por longos períodos, provocando desperdício de energia e aumentando drasticamente o número de vazamentos e os volumes de perdas físicas de água.

O projeto da COMUSA prevê a redução do consumo de energia elétrica na operação do sistema por meio da instalação de inversores de frequência (variadores de velocidade) em substituição ao sistema manual ou temporizadores, possibilitando trabalho a pressão constante ou vazão controlada. Estas medidas, ora em início de operação, associadas a outras já implementadas pela Comissão Interna de Gestão Energética (CIGE), permitirão reduzir a necessidade de recalque de água bruta e de água tratada, em especial no horário da ponta (18 às 21 horas), com conseqüente redução no consumo e na demanda de energia elétrica. A operação é supervisionada por um sistema instalado no Centro de Controle Operacional (CCO), monitorando remotamente as operações pré-programadas, potencializando a economia de energia e de água.

Dentro deste contexto, as seguintes ações foram implementadas para cada unidade de consumo (UC) do sistema:

- **UC 01 – Estação de Tratamento de Água (ETA) =>** Função no sistema de distribuição: recalque de água tratada para os subsistemas Petry (reservatório) via o conjunto motobomba UC1-001 e Primavera (recalque) via o conjunto motobomba UC1-004. Ação: instalação de inversor de frequência no conjunto motobomba UC1-001.
- **UC 02 – Elevatória de Água Tratada (EAT) Maurício Cardoso =>** Função no sistema de distribuição: pressurização da zona alta do bairro Hamburgo Velho via o conjunto motobomba UC2-001. O conjunto motobomba UC2-002 é reserva. Ação: instalação de inversor de frequência no conjunto motobomba UC2-001 e deixando o conjunto motobomba UC2-002 como reserva.
- **UC 03 - EAT Primavera =>** Função no sistema de distribuição: recalque de água tratada através dos conjuntos motobombas UC3-001 e UC3-003 para o subsistema Tunísia (reservatórios), Boa Saúde (reservatórios) e Estação de Água Tratada (EAT) Líbia e pressurização da zona alta do bairro Primavera. O conjunto motobomba UC3-002 é utilizado como reserva. Além disto, esta unidade exporta água tratada para os municípios de Estância Velha e Portão. Ação: instalação de inversor de frequência no conjunto motobomba UC3-003, deixando de utilizar o conjunto motobomba UC3-001 e tornando o conjunto motobomba UC3-002 reserva.
- **UC 05 - Booster Calvet =>** Função no sistema de distribuição: pressurização da rede de abastecimento da zona alta do bairro Guarani via o conjunto motobomba UC5-001. Ação: instalação de inversor de frequência no conjunto motobomba UC5-001.
- **UC 07 - Booster Kolling =>** Função no sistema de distribuição: pressurização da rede de abastecimento de parte da zona alta do bairro São Jorge através do conjunto motobomba UC7-001. Ação: instalação de inversor de frequência no conjunto motobomba UC7-001.
- **UC 10 - Booster Chavantes =>** Função no sistema de distribuição: pressurização da rede de abastecimento da zona alta do bairro Liberdade através do conjunto motobomba UC10-001. Ação: instalação de inversor de frequência no conjunto motobomba UC10-001, deixando o conjunto motobomba UC10-002 como reserva.
- **UC 11 - Booster Marcílio Dias =>** Função no sistema de distribuição: recalque para reservatório Maurício Cardoso, para abastecer os bairros Diehl, São Jorge, São José, parte de Canudos, Hamburgo Velho e Vila Nova via o conjunto motobomba UC11-001. Ação: instalação de *soft-starter* no conjunto motobomba UC11-001, deixando o conjunto motobomba UC11-002 como reserva do grupo que sofrerá a intervenção.
- **UC 12 – Elevatória de Água Bruta (EAB) =>** Função no sistema de distribuição: recalque de água bruta para a ETA, que através da ETA-UC 01 abastece a cidade. Regime de operação: no horário de ponta um dos conjuntos motobombas UC12-001 ou UC12-003 é desligado. Ação: instalação de inversor de frequência no conjunto motobomba UC12-001 com modulação no horário da ponta.

Para avaliação dos resultados, o regulamento da chamada pública exigia medições elétricas e hidráulicas antes e após a implementação das ações, permitindo com isso a quantificação dos resultados. No projeto da COMUSA o período de medições anteriores foi de 3 meses consecutivos, referentes aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2006. As medições posteriores iniciaram em janeiro de 2007 e devem ser finalizadas em maio de 2007. No âmbito da metodologia de avaliação dos resultados, também serão comparadas as faturas de energia elétrica antes e após as intervenções.

Medições dos Parâmetros Hidráulicos:

Os parâmetros hidráulicos (vazão e pressão) das unidades são medidos por meio de: macromedidor de vazão tipo eletromagnético, sensor de pressão tipo capacitivo e *data logger* (multimedidor de vazão e pressão móvel). Os dados são transmitidos, com intervalo de integração de 15 minutos, via rádio, para o CCO onde se localiza o Controlador Lógico Programável (CLP) central. Um computador de supervisão localizado na sede da COMUSA acessa os dados do CLP central, armazenando-os em planilhas excel que permitem determinar histogramas de vazão e pressão com intervalos variáveis (15 minutos, ½ hora, uma hora, diário e mensal), assim como elaborar gráficos dos parâmetros de vazão e pressão.

Medições dos Parâmetros Elétricos:

Em cada UC utilizam-se registradores de grandezas elétricas programados para registrarem os seguintes parâmetros elétricos: tensão, corrente, potência ativa, potência reativa, energia ativa e fator de potência respectivamente nas três fases. O período de amostragem é de 200 ms e a cada 15 minutos o registrador faz a média destas amostras, a fim de armazenar em sua memória interna um registro dos parâmetros elétricos supracitados. Cabe lembrar que os períodos de 15 minutos da medição elétrica estão em sincronia com o intervalo de 15 minutos da aquisição de dados hidráulicos, garantindo assim a perfeita caracterização da situação operacional da unidade. A cada duas semanas os registros são coletados e armazenados em um *notebook* para tratamento na sede da COMUSA.

2.2 Eficiência energética e hidráulica

Após a etapa das medições posteriores às intervenções será possível determinar e avaliar os seguintes indicadores de desempenho:

- Consumo específico de energia (kWh/m³) por instalação.
- Consumo específico de energia normalizado (kWh/m³ a 100 mca) por instalação.

- Índice de perdas total de água em percentual.
- Perda Total de água por ligação ($m^3/\text{ligação}\cdot\text{ano}$).
- Economia por redução de demanda e consumo na ponta e fora da ponta (R\$/mês, R\$/ano).
- Economia por redução de consumo total (R\$/mês, R\$/ano).

Além de analisar os indicadores de desempenho, este trabalho visa avaliar o uso dos inversores de frequência para racionalizar o uso da energia elétrica sem afetar a operação do sistema de abastecimento de água. O inversor de frequência é um equipamento elétrico capaz de produzir uma variação nos valores da frequência elétrica que alimenta o motor, causando uma variação de sua rotação (1), (5). Nos sistemas de saneamento, os inversores de frequência podem ser utilizados como mecanismo de modulação de carga, já que normalmente a demanda de água varia ao longo das horas do dia. Assim, com um mecanismo de *feedback* como a pressão de saída, pode-se variar a potência demandada pela instalação de modo a evitar a pressurização além daquela necessária ao sistema. A eliminação do excesso de pressão no sistema reduz proporcionalmente as perdas reais, obtendo-se assim um duplo ganho com o uso do inversor: redução da demanda e consumo elétricos e redução das perdas reais de água.

O uso dos inversores de frequência em uma área de estudo deve ser demonstrado tendo como base medições confiáveis de vazão nas linhas de recalque; medições de todos os parâmetros elétricos individualizados por equipamento para a instalação em estudo; pressão na sucção e no recalque da(s) bomba(s) e na linha de recalque imediatamente a jusante do barrilete, e em outros pontos cabíveis, na perfeita caracterização dos desníveis geométricos e com a utilização de cálculos hidráulicos pertinentes e adequados ao caso.

A estimativa de economia gerada pela utilização dos inversores deverá ser baseada na comparação das curvas de vazão e pressão anteriores ao projeto e as projetadas, verificando-se simultaneamente os valores das grandezas elétricas e hidráulicas. Outras alternativas (por exemplo, composição de bombas para modulação de carga) deverão ser avaliadas para comparação e determinação da solução ideal.

2.3 Qualidade de energia elétrica

Os inversores de frequência, pelo seu princípio de funcionamento, provocam distorções nas formas de onda de tensão e corrente da rede elétrica, as quais passam a apresentar características diferentes de uma onda senoidal pura de 60 Hz, devido à presença de harmônicos na rede. Em um sistema elétrico trifásico ideal, as tensões em qualquer ponto deveriam ser, de forma permanente, perfeitamente senoidais, equilibradas, e com amplitude e frequência constantes. Qualquer desvio, acima de certos limites, nas características desses parâmetros pode ser considerado como uma perda de qualidade de energia (1).

Ou seja, o uso de inversores de frequência nos sistemas de saneamento pode interferir na qualidade da energia elétrica nas unidades consumidoras e nos bairros próximos, provocando perda de rendimento dos conjuntos motobombas e interferências eletromagnéticas indesejáveis em outros equipamentos. Por esta razão, os indicadores de qualidade de energia elétrica (desequilíbrio de tensão e corrente elétrica) também foram monitorados durante a execução do projeto.

3.0 - RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Eficiência energética e hidráulica

Os resultados preliminares da economia de energia elétrica e da redução de demanda para as UCs do projeto são apresentados na Tabela I. Na Tabela I também são apresentados os valores de consumos e demandas antes e depois do início da operação dos inversores de frequência, comparando-se os ganhos obtidos com os previstos na fase de apresentação do projeto.

Tabela I – Resultados das Intervenções no Projeto

UC	Demanda registrada (kW)		Consumo médio (MWh/ano)		Metas do Projeto		Resultados obtidos	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Redução demanda (kW)	Redução consumo (MWh/ano)	Redução demanda (kW)	Redução consumo (MWh/ano)
1	469,46	344,12	2317,94(*)	2007,71(*)	170,00	348,00	125,34	310,24(*)
2	64,08	51,16	280,28(*)	246,38(*)	6,00	123,00	12,91	33,90(*)
5	18,99	13,37	166,34	117,09	11,00	73,00	5,62	49,25
7	7,09	3,97	62,12	34,79	4,00	30,00	3,12	27,33
10	5,20	3,07	45,57	26,88	5,00	33,00	2,13	18,69

(*) Consumo médio (kWh/mês) multiplicado por 12.

Os inversores das UCs 5, 7 e 10 entraram em operação em julho/06. A economia de energia elétrica e a redução de demanda foram calculadas considerando as médias de consumo e demanda no período anterior e posterior à operação dos inversores, conforme as faturas de energia elétrica. No período posterior o consumo médio mensal no período foi multiplicado por 12 meses. Os inversores das UCs 1, 2 e 12 entraram em operação no início de 2007, não permitindo o cálculo da economia anual realizado para as UCs 5, 7 e 10 até a presente data (março/07).

Por esta razão, para aquelas UCs, foram apresentadas a economia de energia e a redução de demanda a partir dos dados parciais, extrapolados para 12 meses.

A Figura 1 mostra a demanda de potência nas UCs 7 e 10 antes e depois da operação dos inversores de frequência, para um determinado dia típico. Procurou-se escolher os dias típicos antes e depois dos inversores em uma mesma época do ano para evitar efeitos de sazonalidade. Esta regra foi adotada para as demais UCs. Na Figura 1, foi verificada a redução significativa no consumo e na demanda após a operação dos inversores para as UCs 7 e 10. Estas UCs estão no final da rede de distribuição, bombeando diretamente para os consumidores.

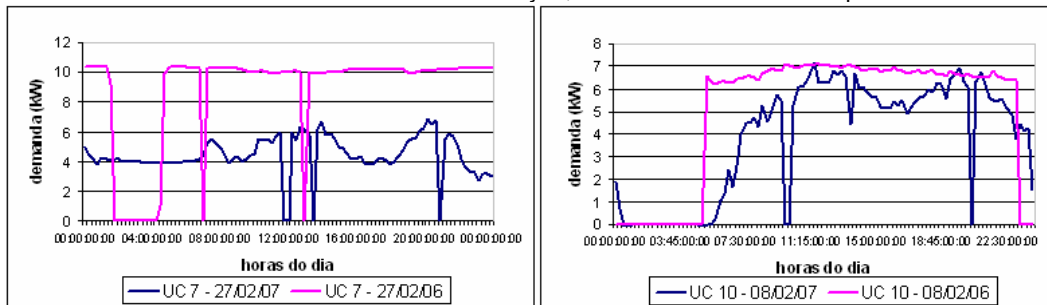


Figura 1: Demanda em um dia típico nas UCs 7 e 10, antes e depois da operação dos inversores de frequência.

A Figura 2 mostra a demanda de potência nas UCs 2 e 5 antes e depois da operação dos inversores de frequência, para um determinado dia típico. Em ambas as UCs, foram verificadas reduções no consumo e na demanda, considerando as medições elétricas em um dia típico. A UC 5 está próxima ao final da distribuição de água, na entrada de um setor consumidor. Apesar da redução de demanda com o inversor na UC 2, o sistema liga-desliga de operação do motor continuou após o uso do inversor. O número de partidas do motor da UC 2 reduziu de 32/dia para 15/dia, contribuindo para redução do desgaste do motor.

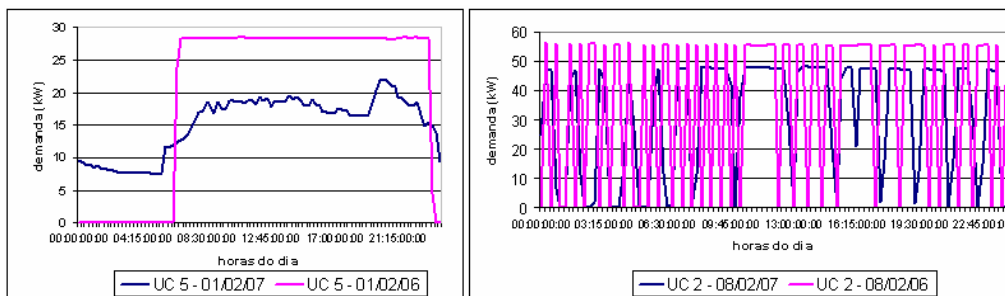


Figura 2: Demanda em um dia típico nas UCs 5 e 2, antes e depois da operação dos inversores de frequência.

A Figura 3 mostra a demanda da UC 1 em um dia típico anterior e posterior à operação do inversor de frequência. Apesar do aumento na demanda registrada neste dia típico, a demanda registrada no mês (fevereiro) foi menor em relação à registrada no período anterior ao inversor. A demanda registrada em fev/06 foi de 469,46 kW no dia 28/02/06; enquanto em fev/07, a demanda registrada foi de 344,12 kW, ocorrida no dia 14/02/07. A operação do inversor de frequência possibilitou uma melhoria no fator de carga na UC 1 de 0,59 para 0,69 e viabilizou o desligamento do conjunto motobomba no horário da ponta, produzindo uma redução de demanda na ponta de 300 kW nesta UC.

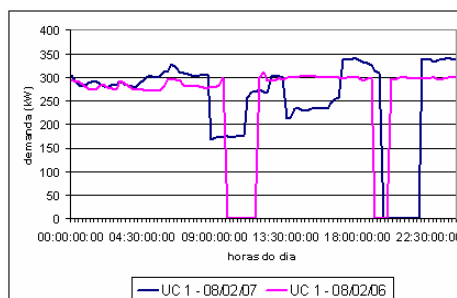


Figura 3: Demanda da UC 1 em um dia típico, antes e depois da operação dos inversores de frequência.

A Figura 4 mostra a vazão nas UCs 1 e 5 para um dia típico antes e depois da operação dos inversores de frequência, enquanto a Figura 5 mostra a vazão nas UCs 10 e 2 para um dia típico antes e depois da operação dos inversores. Na UC 5 as vazões durante o dia reduziram com a operação do inversor, proporcionando melhoria no fator de carga da instalação e economia de energia. A vazão bombeada na UC 1 apresentou redução com a entrada em operação do inversor de frequência. Este inversor possibilitou uma melhor modulação da carga e ampliação do tempo de desligamento do motor no horário de ponta, proporcionando economia de energia e redução de demanda.

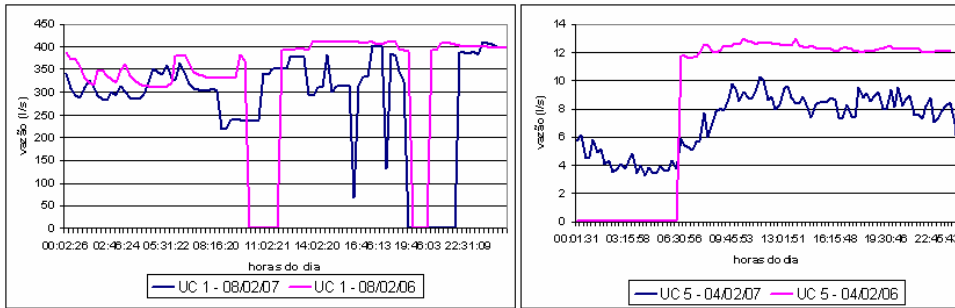


Figura 4: Vazão em um dia típico nas Ucs 7 e 5, antes e após a operação dos inversores de frequência.

Pela Figura 5, pode-se verificar que a vazão bombeada diminuiu, resultando em redução de demanda e consumo de energia, em comparação ao período sem a operação do inversor de frequência. Na UC 10, houve uma maior modulação da carga em função dos consumidores de água à jusante do bombeamento. Por outro lado, na UC 2, apesar da redução na demanda e na vazão, o controle de vazão liga-desliga continuou associado ao controle pelo inversor.

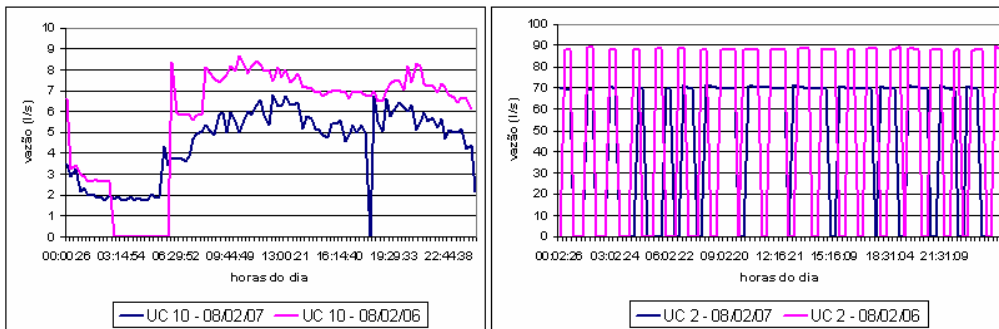


Figura 5: Vazão nas Ucs 10 e 2, antes e depois da operação dos inversores de frequência.

3.2 Qualidade de energia

O desequilíbrio de tensão entre fases foi calculado com base no Anexo B da NBR 7094/2003, sendo expresso como a relação entre o desvio máximo da tensão em relação ao valor médio e o valor médio da tensão. Esta relação é uma aproximação do valor relativo da componente de seqüência negativa da tensão (8). Em um sistema equilibrado, uma das condições é que a componente de seqüência negativa não pode exceder 1% da componente de seqüência positiva por um período prolongado. Para levantamento aproximado do desequilíbrio de corrente, também foi utilizado a mesma relação calculada para o máximo desvio de corrente e corrente média.

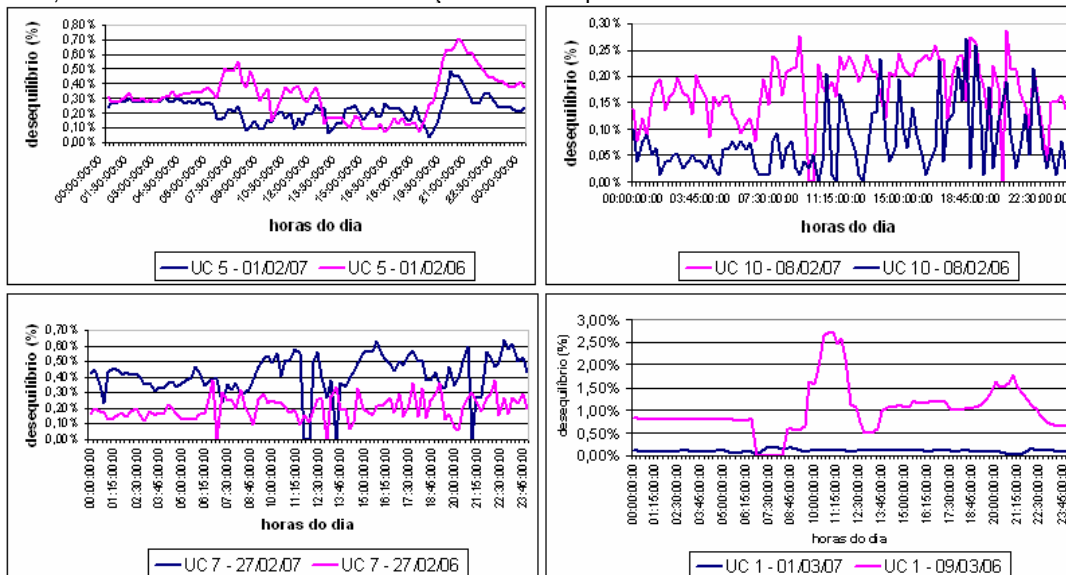


Figura 6: Desequilíbrio de tensão nas Ucs 5, 10, 7 e 1 antes e depois da operação do inversor para um dia típico.

A Figura 6 mostra os desequilíbrios de tensão nas Ucs 5, 10, 7 e 1 em um dia típico comparando os períodos antes e depois da entrada em operação dos inversores. Exceto a UC 1, o desequilíbrio de tensão nas demais Ucs da Figura 6 ficou abaixo de 1%, tanto antes quanto após a operação dos inversores. Na UC 5, o desequilíbrio de tensão ficou abaixo de 0,70%; na UC 10, abaixo de 0,25% e na UC 7, abaixo de 0,60%. Na UC 1, antes da

operação do inversor, o desequilíbrio de tensão estava em torno de 1%; e após a entrada do inversor, o desequilíbrio ficou abaixo de 0,25%.

A Figura 7 mostra o desequilíbrio de corrente nas Ucs 5, 10, 7 e 1 antes e depois da operação do inversor em um dia típico. Em relação ao desequilíbrio de tensão, a ordem de grandeza do desequilíbrio de corrente foi maior. Conforme (8), o desequilíbrio de corrente chega a ser na ordem de seis a dez vezes o desequilíbrio de tensão. O desequilíbrio de corrente após a entrada em operação dos inversores apresentou um aumento significativo. Na UC 5, o máximo valor do desequilíbrio de corrente subiu de 4% para 7% com a operação do inversor. Na UC 10, a variação foi de 2% para quase 10%. Na UC 7, o máximo desequilíbrio variou de 4% para 14%. Na UC 1, o desequilíbrio antes do inversor estava na ordem de 1% e após o inversor, o máximo valor atingiu 6%, e valores médios na ordem de 2%. Além da influência da tensão, a operação dos inversores de frequência contribuiu para o aumento desse desequilíbrio.

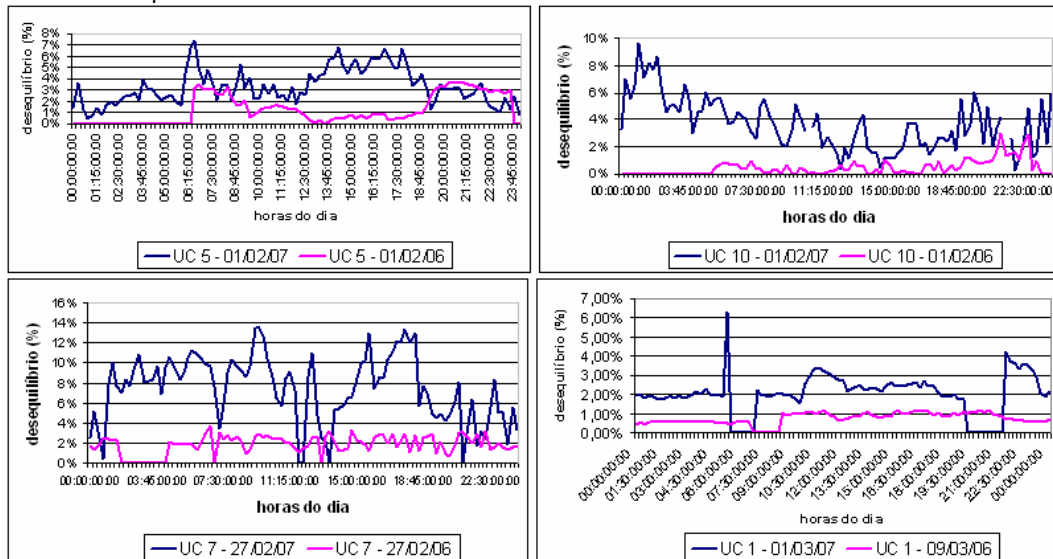


Figura 7: Desequilíbrio de corrente nas Ucs 5, 10, 7 e 1 antes e após a operação dos inversores de frequência.

A Figura 8 apresenta o desequilíbrio de tensão e corrente na UC 2, antes e depois do inversor de frequência. A utilização do inversor de frequência provocou uma redução no desequilíbrio de tensão de 0,80% para 0,40%. O desequilíbrio de corrente também reduziu com a operação do inversor, de 5% em média para 1% em média.

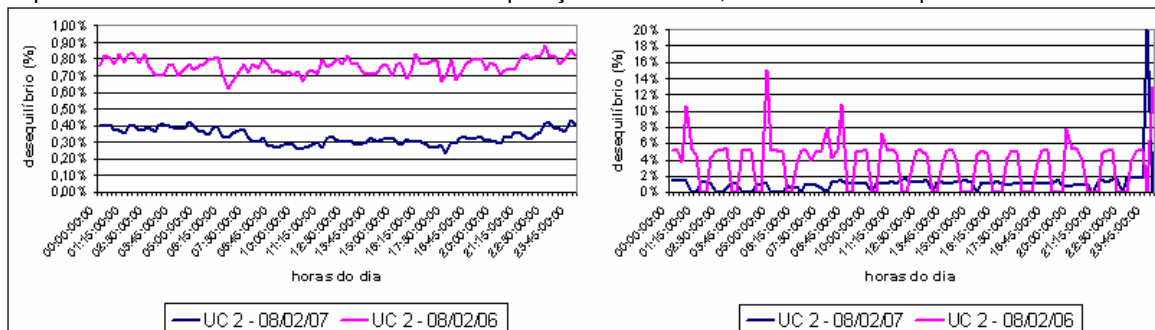


Figura 8: Desequilíbrio de tensão e corrente na UC 2 antes e após a operação dos inversores de frequência

A variação percentual de tensão foi calculada a partir da tensão média dos motores, sendo referência a tensão nominal do motor (tensão de placa). As tensões médias de cada UC foram obtidas dos medidores elétricos do projeto. A Tabela II apresenta as variações médias de tensão, em valores absolutos, em relação às tensões nominais para algumas UCs, considerando o período anterior e posterior a operação dos inversores.

Tabela II – Variação de tensão em relação à nominal nas Ucs, antes e depois dos inversores.

UC	Varição de tensão - antes	Varição de tensão - depois
1	4,69%	3,68%
2	2,32%	2,42%
5	1,10%	1,25%
7	0,90%	1,07%
10	2,46%	2,35%

A variação de tensão foi maior na UC 1, sendo que esta diminuiu em 1,01% com a operação do inversor. Nas demais UCs a variação de tensão não apresentou alterações significativas com a operação do inversor. Na UC 2, a variação de tensão aumentou em 0,1% e na UC 10, essa variação reduziu em 0,11% com o inversor de

freqüência. Nas UCs 5 e 7, a variação de tensão ficou em patamares menores quando comparadas às UCs 1,2 e 10, ficando na ordem de 1%.

As variações de tensão verificadas nas UCs não provocaram perdas significativas de eficiência nos motores. Para essas variações, a redução da eficiência do motor ficou abaixo de 1%. A operação dos inversores exerceu pouca influência na variação de tensão, sendo a alimentação da concessionária e características das instalações os principais fatores que influenciaram na variação de tensão.

4.0 - CONCLUSÃO

Os inversores das UCs nas extremidades do sistema de abastecimento de água (UCs 2, 5, 7 e 10) apresentaram os melhores resultados percentuais de economia de energia e redução de demanda, em função de realizarem uma melhor modulação bem próximo aos consumidores de água. Os projetos envolvendo inversores na captação/recalque de água bruta para a ETA devem ser melhor avaliados, pois na UC 12 (captação de água bruta) não foi possível a modulação da vazão, por questões de confiabilidade no fornecimento de água à cidade de Novo Hamburgo, isto é, a vazão solicitada pela ETA não apresentou possibilidade de variação viável energeticamente, resultando em piora do kWh/m³ com a operação do inversor.

A operação dos inversores contribuiu para o aumento dos desequilíbrios das correntes nos motores, podendo provocar perda de eficiência nos motores. A COMUSA deve buscar alternativas para mitigar os desequilíbrios de corrente provocados pelos inversores. Tais desequilíbrios podem resultar em distorções harmônicas que podem se propagar para a rede elétrica e para residências próximas. Em relação à tensão, os desequilíbrios após os inversores ficaram na ordem de 0,5 %, não resultando em perdas significativas de eficiência. As variações de tensão em relação à nominal ficaram abaixo de 5%, resultando em perdas de eficiência abaixo de 1%. Variações de tensão acima de 5 % podem resultar em perdas no motor de 2 a 4%.

De modo geral, o projeto de eficiência energética na COMUSA apresentou resultados satisfatórios de redução de demanda e economia de energia elétrica. A COMUSA ampliou o gerenciamento das grandezas elétricas e hidráulicas através dos medidores instalados durante o projeto. Esta melhoria na medição possibilitará à COMUSA a obtenção de indicadores de desempenhos mais próximos do real, uma operação de seus sistemas de maneira mais eficiente e a identificação de oportunidades, através de estudos específicos, para melhorar a qualidade de energia, e, em consequência, a vida útil e a eficiência dos equipamentos.

Cabe ressaltar que o projeto ainda está em fase de medições posteriores das grandezas elétricas e hidráulicas após as intervenções realizadas. Deste modo, os resultados apresentados até a presente data (março/2007) são preliminares.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) VÁRIOS AUTORES. Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. Itajubá – MG: FUPAI, 2001.
- (2) POLITO, R. Eficiência Energética – Bom Negócio para Todos. Revista BRASIL ENERGIA, Rio de Janeiro, nº 305, p. 92-103, Abril 2006.
- (3) PMSS/SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2001. Brasília: SEDU/PR-IPEA, 2002.
- (4) BAHIA, S. R. Eficiência Energética nos Sistemas de Saneamento. Rio de Janeiro: IBAM - ELETROBRÁS/PROCEL, 1998.
- (5) TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.
- (6) PAULA FILHO, J. D. A Água que Falta. In: Súmula Ambiental, Ano VIII, no 91. Rio de Janeiro: FIRJAN, Agosto, 2004.
- (7) ELETROBRAS/PROCEL. Plano de Ação do PROCEL SANEAR, Biênio 2004-2005. Rio de Janeiro, 2003, www.eletronbras.com/procel.
- (8) ABNT; NBR 7094/2003 – Máquinas elétricas girantes – Motores de indução – Especificação; ABNT; Fev/2003.

6.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe técnica da COMUSA, em especial aos engenheiros Márcio Kutscher e João Pureza e ao diretor Délcio Altmann pela dedicação e presteza no envio dos dados elétricos e hidráulicos para elaboração deste informe técnico.