



SCE/018

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

STE II

SESSÃO TÉCNICA ESPECIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – SCE

A SOLUÇÃO NO CASO DAIMLERCHRYSLER PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO

Fernando Pinto Dias Perrone*
ELETROBRÁS

Saulo Afonso
DAIMLERCHRYSLER do Brasil Ltda.

Evandro Sérgio Camêlo Cavalcanti
Paulo da Silva Capella

CEPEL

RESUMO

A avaliação das condições operacionais de um dos três sistemas de ar comprimido da fábrica da DAIMLER-CHRYSLER de São Bernardo do Campo (SP) por iniciativa da ELETROBRÁS/PROCEL permitiu a identificação de oportunidades para a redução do consumo de energia elétrica. As soluções técnicas com maior potencial de economia de energia propostas possibilitarão redução da ordem de *40% no consumo de energia elétrica* do sistema analisado na geração e na distribuição do ar comprimido, isto é, a redução do consumo de energia elétrica de 2.474 kWh por ano com economia anual de R\$ 188.011,00.

PALAVRAS-CHAVE: Ar Comprimido, Conservação de Energia, Diagnóstico Energético.

1.0 - INTRODUÇÃO

A partir da metade da década de setenta o mundo se ressentia das conseqüências do embargo do petróleo imposto pela OPEP em 1973, enquanto o Brasil vivia o “*milagre brasileiro*”, sem sentir os efeitos da crise do petróleo em suas atividades industriais, em parte pela oferta de energia elétrica de origem predominantemente hidráulica e em parte por não surgir a necessidade de cortes no fornecimento de insumos energéticos. Somente a partir de 1979, é que o empresário bra-

sileiro passou a sentir a *crise de energia* e a considerá-la com mais seriedade (1), tendo passado a buscar alternativas para a substituição de insumos energéticos por outros de menor custo e maior disponibilidade, bem como de equipamentos e processos mais eficientes. Atualmente, o país vive a iminência da falta de energia elétrica, devido à necessidade de novos investimentos em geração. A redução do desperdício de energia constitui-se por isto numa *alternativa* das mais inte-ressantes para o país (2).

Do ponto de vista social é recomendável porque a redução dos desperdícios permite aumentar a produção, sem implicar em acréscimos substanciais de gastos com energia elétrica. Por outro lado, do ponto de vista das indústrias, existe grande motivação em explorar ao máximo essa perspectiva sobretudo em vista dos custos crescentes desses insumos.

Os objetivos deste informe técnico é a *identificação e análise de soluções técnicas* que possibilitem à redução do consumo de energia elétrica em sistemas de ar comprimido industriais, bem como a apresentação das soluções recomendadas para a unidade da DAIMLER-CHRYSLER de São Bernardo do Campo (SP).

2.0 - USO DO AR COMPRIMIDO NO SETOR INDUSTRIAL

De maneira geral, o ar comprimido é usado amplamente na indústria como fonte de energia para acionamento há mais de um século, sendo, freqüentemente, considerado como a “quarta utilidade” (2). Quase toda instalação industrial, desde uma pequena oficina até uma grande indústria, tem algum sistema de ar comprimido.

A produção de ar comprimido pode ser um dos processos mais dispendiosos da fábrica. Atualmente, a

maior parte do ar comprimido é produzido por compressores acionados por motores elétricos. O custo operacional anual com compressores de ar, secadores e equipamentos auxiliares pode corresponder até 70% da conta de energia elétrica de uma indústria (3). Como conseqüência, grande parte do custo de fabricação pode ser atribuído ao ar comprimido, evidenciando que grande potencial de economia de energia pode, também, existir em sistemas de ar comprimido (4).

Em muitos casos, o sistema de ar comprimido é tão vital que a indústria não pode operar sem ele. Os sistemas de ar comprimido podem variar em tamanho desde uma pequena unidade de 3,5 kW até grandes sistemas com mais de 35 MW (4).

No entanto, a maioria das instalações industriais de ar comprimido não recebe os cuidados necessários e passa a ser uma fonte permanente de grandes desperdícios de energia, sendo, talvez, a forma mais ineficiente de uso de energia comumente encontrada nas fábricas. Seu uso vem crescendo, principalmente, em decorrência da necessidade da melhoria de produtividade, que vem sendo alcançada com novas técnicas de automação (5).

De maneira geral, as áreas de interesse básico das gerências industriais com relação aos sistemas de ar comprimido são a redução do custo de investimento de capital e assegurar suporte confiável para as atividades de produção. Por outro lado, aumentando-se as áreas de interesse atuais e gerenciando-se agressivamente todo o sistema de ar comprimido, pode-se obter, frequentemente redução de custos no ar comprimido da ordem de até 30% (6).

O sistema de ar comprimido consiste do *lado de suprimento*, composto por compressores, equipamentos para tratamento do ar, sistemas de armazenamento; e do *lado de demanda*, formado pela distribuição de ar e equipamentos de uso final. O gerenciamento correto do lado de suprimento resultará em ar limpo, seco, estável sendo fornecido na pressão adequada de forma confiável e econômica. O gerenciamento correto do lado da demanda possibilitará a redução do desperdício de ar e do uso de ar comprimido para aplicações elegíveis (6).

A redução do consumo de energia elétrica em um sistema de ar comprimido se inicia com a elaboração de um projeto tecnicamente *bem-feito*, escolha de equipamentos e materiais de boa qualidade, energeticamente eficientes, e uma instalação bem planejada, utilizando-se mão-de-obra especializada, bem como no planejamento da operação e manutenção do sistema de ar comprimido (7) (8).

Em geral, nos sistemas de ar comprimido em operação, as oportunidades de economia de energia podem ser identificadas *na geração, distribuição e uso final*. Por esta razão é natural que o *diagnóstico ou auditoria energético* em tais sistemas seja implementado para cada uma destas áreas, observando-se a interação entre elas.

Apresenta-se nas seções seguintes a descrição de soluções técnicas que possibilitam a melhoria de desempenho e a redução do consumo de energia elétrica em sistemas industriais de ar comprimido.

3.0 - OPORTUNIDADES DE ECONOMIA NA GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Antes de iniciar o estudo de otimização energética de uma instalação de ar comprimido é conveniente que se determine o seu consumo anual de energia e o correspondente custo de operação. Como mencionado anteriormente, 30% deste custo pode ser um bom indicador do potencial de economia, a ser alcançado, e portanto, servir para a tomada de decisão da empresa em prosseguir com o estudo de otimização.

O levantamento de dados do consumo de energia elétrica anual pode ser facilmente obtido através de medidores e totalizadores específicos para o sistema de ar comprimido. No entanto, caso não haja medidores instalados, este fato não deve se constituir num obstáculo para que se faça uma avaliação razoável deste consumo.

Esta avaliação pode ser feita por diferença dos consumos médios totais para dias de produção e dias sem produção. Além disso, os consumos de outras instalações industriais, quando puderem ser conhecidos ou estimados com maior precisão, poderão ser utilizados como parâmetros de comparação. Na ausência de instrumentos de medição, pode-se estimar o consumo de cada compressor a partir da demanda de potência do motor nos períodos de carga e descarga do compressor, multiplicados pelo número de horas de serviço.

Existem vários tipos de compressores de ar, baseados em princípios de funcionamento distintos, que os tornam mais ou menos indicados para diferentes aplicações. Na indústria os tipos de compressores mais frequentemente utilizados são os alternativos, os de parafuso e os centrífugos.

Em muitas instalações de ar comprimido é comum encontrar-se vários compressores, com capacidades variáveis, bem como de diferentes tipos. Consequentemente, torna-se necessário conhecer o desempenho individual de cada um desses equipamentos, para determinar a maneira mais eficiente de operá-los para atender as necessidades da instalação.

Um excelente indicador do desempenho de um compressor é seu consumo específico, expresso em kW.min/Nm³. Para seu cálculo são necessários a potência em (kW) para gerar sua capacidade volumétrica máxima em Nm³/min nas condições de utilização (9).

No caso de compressores novos, o dado de consumo específico teórico pode ser obtido do seu fabricante. No entanto, para instalações com vários compressores em operação, esta característica pode variar muito entre um tipo e outro, segundo sua capacidade, carregamento do seu motor, seu desgaste, manutenção e ca-

racterísticas de utilização do equipamento, devendo-se calculá-lo em cada caso. O cálculo será mais preciso se a instalação dispuser de instrumentos para medição do consumo de energia e de vazão, se bem que em muitas situações estas informações podem não estar disponíveis.

Para a medição do consumo energia do compressor pode-se empregar medidores de variáveis elétricas conectados a cada compressor durante períodos de tempo adequados para a obtenção de valores representativos. Em geral, uma semana pode ser suficiente (10).

As medições do volume de ar comprimido gerado pode ser medido com medidores de vazão do tipo placa de orifício, que devem ser instalados na saída de cada compressor. Se eventualmente, existir um único medidor deve-se fazer as medições dos dados de operação individualmente para cada compressor.

A informação obtida sobre o sistema de geração servirá para tomada de decisões, tais como: **1.** identificação dos compressores mais eficiente tendo em vista o maior tempo de operação; **2.** identificação dos compressores que trabalhem mais tempo, tendo em vista aqueles que melhor se adaptem as características de demanda da instalação; e **3.** estudo das alternativas mais eficientes de controle e operação dos compressores. Com relação a este último aspecto, existe uma série de estratégias de controle, tanto individual como de um conjunto de compressores que podem resultar em economias significativas no consumo (11).

Outros fatores que afetam o consumo de energia elétrica na geração de ar comprimido são: a temperatura e condições nas quais o ar é aspirado pelo compressor; a pressão de geração adotada; e o número de estágios de compressão.

Quanto mais baixa a temperatura de aspiração de um compressor, menor será a energia necessária para sua compressão. Como indicação pode-se dizer aproximadamente que: **1.** para cada 4°C de aumento na temperatura do ar de aspiração, o consumo de energia aumenta em 1% para se obter o mesmo volume gerado; e **2.** para cada 3°C de redução da temperatura do ar aspirado verifica-se aumento de 1% da capacidade do compressor para o mesmo consumo (12) (13).

Assim sendo, recomenda-se que a tomada da aspiração de ar seja feita do exterior da sala de compressores. Caso seja necessário "dutar" a tomada de ar, esta deve ser curta, reta e de grande diâmetro e o filtro deverá ser mantido sempre limpo, para que a perda de carga na aspiração seja a menor possível. Para cada 25 mbar de queda de pressão na aspiração, o rendimento global do compressor é reduzido em 2% (12).

É conveniente ressaltar que 80% da energia gasta na compressão se transforma em calor e que parte do calor produzido pelo compressor e seu motor se transmitem para o ambiente. No caso dos compressores resfriados a ar, o calor dissipado pode superar em até 70% da energia elétrica consumida pelo motor e nos compres-

sores resfriados a água o calor transmitido para a sala dos compressores pode atingir valores da ordem de 15% do seu consumo (9). Por isto, se o local da sala dos compressores for fechado deve-se tomar cuidado para evitar que as condições ambientes não prejudiquem negativamente a aspiração de ar. A localização e a disposição da sala de compressores, também, influem no consumo de energia destes.

Como regra geral, pode-se dizer que quanto menor for a pressão de geração, menor será a energia necessária para comprimir o ar. A pressão de geração é estabelecida em função da pressão requerida pelo equipamento ou processo pneumático que tenha a maior demanda de pressão na instalação industrial. Se sua necessidade for muito maior do que dos demais equipamentos aconselha-se estudar a possibilidade de dedicar um compressor especificamente para a aplicação em questão.

Deve-se assegurar que o processo ou equipamento mais crítico nunca trabalhe em nível de pressão inferior a requerida. Assim, deve-se estabelecer o nível de pressão no compressor um pouco acima do valor requerido, a fim de compensar a queda de pressão na linha de distribuição. Não se pode esquecer que a escolha de um nível de pressão acima do imprescindível custa dinheiro. Um acréscimo de 10% a mais na pressão corresponderá a um aumento de 5% no consumo de energia elétrica da instalação. A pressão mínima de geração deverá ser estabelecida conforme a mínima requerida no ponto de utilização, contabilizando-se as perdas de carga no sistema de distribuição (12).

A compressão em duplo estágio é sempre mais eficiente, e portanto consome menos energia. Este fato deve ser levado em conta, em particular, para instalações de pequena capacidade volumétrica, pois existe a tendência de selecionar-se compressores de estágio simples.

O uso de óleo sintético em compressores reduz o consumo de energia de 2 a 5%, além de oferecer outros benefícios em relação ao óleo mineral, tais como: vida útil do óleo de até 8000 horas (equivalente a 7 trocas do óleo mineral); diminuição de depósitos de carbono e vernizes; temperatura do óleo mais baixa; temperatura de descarga do ar comprimido mais baixa; menor consumo de óleo; menor arraste de óleo na descarga; e menor ruído e vibrações. Recomenda-se que esta medida seja analisada em conjunto com o fabricante do compressor para que se possa verificar sua aplicabilidade, bem como sua compatibilidade com os materiais do compressor e a economicidade (14).

4.0 - OPORTUNIDADES DE ECONOMIA NA DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO

A função do sistema de distribuição é transportar o ar comprimido desde o compressor e/ou reservatório de acumulação até o uso final. Os principais pontos mais

importantes para a eficiência energética na rede de distribuição são decorrentes de: **1.** queda de pressão entre o compressor e os pontos de consumo de ar; e **2.** vazamentos de ar.

Em geral, a linha de distribuição deve ser projetada de tal sorte que a queda de pressão entre o ponto de geração e o de consumo não ultrapasse o limite recomendável de 0,3 bar ou 5% da pressão de geração (12).

No entanto, durante a vida útil de uma instalação pode ocorrer que novos pontos de consumo sejam incorporados, com suas demandas de vazão de ar específicas fazendo com que o limite de perda de carga seja ultrapassado.

Uma queda de pressão elevada na distribuição pode dar origem a uma pressão de ar no ponto de consumo inferior a prevista, ocasionando perda de potência nas ferramentas pneumáticas.

Nas redes de distribuição, sempre que for possível, é recomendável que seu traçado seja em forma de anel fechado, passando o mais próximo dos pontos de consumo. Isto permite que a distribuição seja mais uniforme quando os consumos são intermitentes, já que o ar poderá chegar ao ponto de consumo por caminhos diferentes. Com este traçado as velocidades de escoamento são menores em qualquer ponto e portanto, também, são menores as perdas de carga.

Os vazamentos de ar comprimido são freqüentes e de origens diversas, e representam de 20% a 40% da demanda máxima de ar comprimido de um sistema. Esta variação tão ampla depende da configuração de cada sistema e dos cuidados de manutenção. O desgaste dos equipamentos e acessórios, bem como o mau uso do ar comprimido, constituem as principais causas de perdas. O desgaste de um sistema de distribuição e de seus equipamentos é inevitável. Pode-se analisar esse fenômeno por dois aspectos: sistema principal de distribuição de ar e o sistema secundário acoplado a diversos equipamentos.

De maneira geral, os sistemas de distribuição de ar comprimido podem ser configurados de diversas formas, mas, normalmente, a tubulação é conectada através de conexões roscadas, flangeadas ou soldadas. As conexões roscadas e flangeadas dão origem a vazamentos ao longo dos anos, em decorrência da perda gradual de vedação.

Estas perdas são menos relevantes do que aquelas que ocorrem nos acoplamentos finais. A corrosão pode, da mesma forma, dar origem a vazamentos, sendo portanto recomendável que os tubos corroídos sejam trocados por razões de segurança e eficiência energética. O uso de mangueiras de material e/ou montagem inadequados, também, é outro item gerador de vazamentos.

A maioria das perdas ocorre nos acoplamentos de um equipamento à tubulação do sistema de distribuição de ar.

Todos os acessórios ou dispositivos são acoplados através de conexões com juntas de vedação, as quais com o uso deixam escapar o ar comprimido. As mangueiras podem furar ou trincar devido ao envelhecimento. Os conjuntos de filtro-regulador-lubrificador ou separador de líquido podem apresentar vazamentos em vários locais, seja nos acoplamentos rosqueados de entrada e saída, no manômetro, no copo (que pode rachar) ou no dreno, que pode estar gasto ou mau fechado.

Quanto aos engates rápidos, tanto a parte macho como a fêmea, podem apresentar perdas. As juntas de vedação dos cilindros pneumáticos podem apresentar vazamentos, sendo que o risco de vazamento será tanto maior quanto mais freqüente for o uso do cilindro.

As válvulas de drenagem elétricas ou purgadores mecânicos de água podem apresentar vazamento tanto nas conexões de acoplamento, como também, através do próprio corpo devido à presença de sujeira na sede da válvula de fechamento.

Embora seja difícil quantificar a vazão em um ponto de vazamento, devido à dificuldade de se estimar o diâmetro equivalente, é interessante exemplificar o que pode acontecer com o escapamento de ar comprimido através de um orifício em um sistema mantido a 7 bar. Na Tabela 1, apresenta-se, para vários diâmetros, a vazão de ar comprimido perdida para a atmosfera através deste para um diferencial de pressão de 7 bar, calculada como escoamento em condições de bloqueio sônico (13), bem como o desperdício de energia anual, considerando-se que para um compressor do tipo parafuso lubrificado consome em média 6,3 kW.min/Nm³ para comprimir o ar.

TABELA 1

Diâmetro do Orifício (mm)	Vazão Volumétrica (litros/min.)	Consumo de Energia Anual (kWh)
0,40	6,77	348,15
0,80	28,78	1.479,56
1,60	113,43	5.831,29
3,20	457,11	23.499,34
6,40	1.826,77	93.910,35
9,60	4.105,57	211.058,91
12,7	7.178,33	369.023,74

Para a identificação de vazamentos, pode ser utilizada a técnica de detecção por ultra-som. Com esta, é possível a localização de todos os pontos de vazamento de ar na distribuição, bem como nas área de geração e uso final. Com base na inspeção com ultra-som, faz-se a classificação segundo a prioridade para eliminação do vazamentos tendo em vista a perda de energia, colocando-se etiquetas nos pontos de vazamentos. Além disso, visando assegurar que o nível de perdas em

vazamentos de ar seja o menor possível, deve-se criar rotina de manutenção para a distribuição de ar comprimido, baseado na medição periódica da vazão de ar perdida em vazamentos.

5.0 - OPORTUNIDADES DE ECONOMIA NO USO FINAL DE AR COMPRIMIDO

De maneira geral, o desperdício de energia pode estar associado ao mau uso do ar comprimido não necessário à produção, ou a não utilização de práticas que permitam otimizar o seu uso. Por exemplo, o escape de ar comprimido quando a máquina não está em operação poderia ser evitado fazendo-se o intertravamento desta na condição de operação com o suprimento de ar. Nestes casos, a vazão de ar comprimido poderia ser controlada pela utilização de dispositivos especialmente concebidos para reduzir o consumo sem diminuir a eficiência de produção, ou ainda, a colocação de válvulas solenóides no circuito de distribuição permitiria interromper o consumo de ar comprimido logo que o processo parasse, interrompendo as perdas por vazamentos no circuito. Em alguns casos, a utilização de ar comprimido pode ser completamente eliminada, sendo o seu uso substituído por um processo elétrico ou mecânico.

Como segundo exemplo, pode-se citar o procedimento de deixar válvulas abertas para efetuar a purga de um reservatório, de filtros ou de pontos baixos da tubulação. A utilização de válvulas de drenagem elétricas ou purgadores de água, especialmente concebidos para este fim, permitem reduzir consideravelmente o consumo de ar comprimido.

6.0 - DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO DA DAIMLERCHRYSLER

Foi realizada inspeção das condições da casa de máquinas onde estão localizados os compressores, bem como, a avaliação das condições operacionais do sistema de geração de ar comprimido, o que permitiu a identificação de oportunidades para a redução do consumo específico de energia elétrica devido aos compressores.

As constatações de vazamentos em grande número, com equipamento de detecção ultra-sônica, tanto na área da geração quanto no uso final, permitiu concluir que existe grande potencial de economia a ser alcançado com a localização, etiquetagem e eliminação dos vazamentos de ar comprimido (13).

Com o objetivo de avaliar qualitativamente o percentual de perdas de energia elétrica do sistema de ar comprimido devido à existência de vazamentos foi feito o monitoramento do consumo de energia elétrica dos compressores de ar do tipo parafuso (13).

A análise dos resultados deste monitoramento permitiu: a avaliação da característica operacional do sis-

tema de geração do ar comprimido monitorado; a estimativa do percentual de desperdício de energia devido à existência de vazamentos; e a avaliação do consumo de energia elétrica para atender a demanda de ar comprimido.

Em termos de ordem de grandeza, identificou-se que a demanda de potência para suprir as perdas no ar comprimido, é no mínimo, algo em torno de 300 kW, que corresponde à demanda de um dia sem produção, vis à vis, com a demanda para suprir as necessidades de potência de um dia de produção típico que é de 760 kW. Assim sendo, conclui-se que as perdas de energia devido ao vazamento de ar são da ordem de 40% do consumo a plena carga. A avaliação do desperdício médio anual de energia elétrica devido ao vazamento é igual a 2.616 MWh, que corresponde a aproximadamente 2,2% do consumo médio anual total de energia elétrica da fábrica igual a 120.000 MWh.

Para qualificar as oportunidades de economia de energia, foram feitas análises teóricas levando-se em conta as características operacionais dos sistema, tais como, temperatura do ar exterior, temperatura do ar de aspiração, níveis de pressão de geração e de uso final. Apresentam-se na Tabela 2, as medidas recomendadas a partir das análises realizadas que possibilitarão economia da ordem de quarenta por cento no consumo de energia para a geração e distribuição de ar comprimido da central diagnosticada. Considerando-se que os compressores são do tipo parafuso, que a tarifa média de energia elétrica é de R\$ 76,00/MWh e que a fábrica opere anualmente 8.160 horas, a redução do consumo de energia a obtido será de 2.474 kWh/ano com economia anual estimada de R\$ 188.011,00 (13).

7.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A auditoria de um sistema de ar comprimido permite evidenciar os custos reais do ar comprimido e identificar oportunidades ou soluções técnicas simples que contribuam para melhorar a eficiência energética e a produtividade da planta industrial.

Estas oportunidades de redução do consumo de energia incluem, mas não estão limitadas: à recuperação do calor rejeitado pelo compressor; à redução do vazamento de ar comprimido; ao uso do ar exterior à casa de máquinas para a admissão do compressor; à estratégia de controle do compressor; à redução da pressão do ar; e à seleção do compressor (tipo, tamanho, entre outros).

Na implementação de um diagnóstico energético de um sistema industrial de ar comprimido deve-se examinar o suprimento de ar e o uso final, bem como a interação entre oferta e demanda. Em geral, no diagnóstico monitora-se as características do sistema de ar comprimido, calcula-se o consumo de energia, e determina-se o custo anual de operação do sistema. Pode-se, também, medir as perdas totais devido a vazamentos e lo-

calizar àquelas que são mais significativas. Todos os componentes do sistema de ar comprimido são inspecionados individualmente e as áreas problemáticas identificadas.

A DAIMLERCHRYSLER consciente da importância de reduzir o consumo de energia em seu processo produtivo vem implementando, em sua unidade de São Bernardo do Campo (SP), medidas de eficiência energética, em particular na área de ar comprimido, em parceria com a ELETROBRÁS/PROCEL.

As medidas com maior potencial de economia de energia identificadas através do *diagnóstico energético de um dos três sistemas de ar comprimido* existentes na planta, bem como os resultados alcançados com a implementação das medidas definidas no Plano de Metas da DAIMLERCHRYSLER, possibilitarão a redução do consumo de energia ao longo dos anos e a multiplicação das ações para os demais sistemas de ar comprimido da planta. As medidas recomendadas possibilitarão economia da ordem de 40% para a geração de ar comprimido na central diagnosticada, isto é, redução do consumo de energia de 2.474 kWh/ano e economia anual de R\$ 188.011,00 como indicado na Tabela 2. Estes resultados contribuirão seguramente para o aumento da produtividade da planta e melhoria da competitividade dos produtos da DAIMLERCHRYSLER.

8.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) GOLDEMBERG, J. **Economia de Energia no Setor Industrial: Série Estudos e Documentos**, Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Est. de São Paulo, São Paulo, 27p., 1981.
- (2) ANEEL/ANP. **Eficiência Energética: Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios**, Brasília, 432p, 1999.
- (3) Lawrence Berkeley National Laboratory. **Improving Compressed Air System Performance: A Source-book for Industry**, Revision 0, DOE - Motor Challenge and the Compressed Air Challenge Programs, Washington (D.C.) (EUA), Abril 1998.
- (4) US-DEPARTMENT OF ENERGY. **Industrial Compressed Air System Energy Efficiency Guidebook**. Carroll, Hatch and Associates, Inc., Portland, EUA. 1993. 98p. Sponsored by USDOE, Washington, DC (United States). DOE Contract AC79-90BP03940.
- (5) SHOEPS, C.A. & ROUSSO, J. **Conservação de Energia Elétrica na Indústria**, 3a. edição, Rio de Janeiro, CNI, DAMPI, ELETROBRÁS/PROCEL, 92p.
- (6) MALLORY, M. Understanding Your Compressed Air System is Important to Managing it Well, **Energy Matters**, Maio/Junho, p. 4, 2000.
- (7) RISI, J.D. Energy Savings With Compressed Air, **Energy Engineering**; 92 (6): 49-58 (1995).
- (8) EDWARDS, P. Compressed Air Systems Energy Reduction Basics. Ingersoll-Rand Company, Davidson, NC (EUA), March 1998.
- (9) TALBOT, E.M. **Compressed Air Systems: a Guidebook on Energy and Cost Savings**, Ed. Prentice Hall, Nova York, 260 p., 1992.
- (10) WILSON, R.E. Data Logging a Plant Compressed Air System, **Energy Matters**, (5):5- 9, 1999.
- (11) LOWEN, K. e WILLOVER, L. **Maximizing Your Compressed Air Utility Through Microprocessor Control Systems**, Air Compressor Group, Ingersoll-Rand Company. 1996.
- (12) GIRAU, E. **Ahorro de Energia Eléctrica en Sistemas de Ar Comprimido**. Electrical Energy Efficiency in Latin American Industry, Junho 1997.
- (13) CAMELO CAVALCANTI, E.S.; SOARES, G.A.; CAPELLA, P.S.; OLIVEIRA, T.D. **Diagnóstico Energético no Sistema de Ar Comprimido da Fábrica da Mercedes-Benz de São Bernado do Campo (SP)**, Relatório Técnico CEPEL- ADG/A-DUE-539/00, CEPEL, 47p, 2000.
- (14) SUMMIT. www.klsummit.com Catálogo sobre Óleos Sintéticos.

TABELA 2

PRINCIPAIS MEDIDAS DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA					
AÇÃO	ECONOMIA ANUAL		INVESTIMENTO (R\$)	RETORNO (meses)	Observações
	MWh	R\$			
REDUÇÃO DA TEMPERATURA DO AR DE ADMISSÃO	111	8.423,00	4.000,00	6	
ELIMINAR VAZAMENTOS DE AR	2.225	169.100,00	60.000,00	5	Redução dos vazamentos a 10%
CONTROLE CENTRALIZADO	138	10.488,00	32.000,00	37	
TOTAL	2.474	188.011,00	96.000,00		