

# **MAXIMIZAÇÃO DA UTILIDADE ALCANÇAVEL COM A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉCTRICA ACTUALEMENTE DISPONÍVEL**

**Joaquim Delgado\*, Aníbal Traça de Almeida\*\* e Fernando Mamede Santos\***

\* GINTPAE - Grupo de Investigação em Novas Tec. de Produção e Armazenamento de Energia  
Escola Superior de Tecnologia de Viseu (ESTV/IPV)  
Campus Politécnico de Repeses - 3504-510 Viseu  
e-mail: Jdelgado@infante.ipv.pt

\*\* DEEUC - Dep. de Eng. Electrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra  
Pólo II da U.C. - 3030-290 Coimbra  
e-mail: adealmeida@isr.uc.pt

## **Sumário**

É conhecido por alguns clientes do sector eléctrico que a fiabilidade atingível com o sistema tradicional de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica se situa em torno dos 99,9% ou *três noves*. Para as redes interligadas que integrem tecnologias de comando e protecção muito recentes e que sejam alvo de manutenção muito cuidada, o valor da fiabilidade pode, no limite, ser elevado até aos 99,99% ou *quatro noves*. Os valores de fiabilidade desta ordem estão associados tempos de interrupção de fornecimento de energia anuais, acumulados, de cerca de 8 horas a 1 hora, respectivamente. É também conhecido, mas por um grupo muito restrito de clientes, que – para que as cargas da nova economia possam operar sem problemas – necessitam de energia eléctrica com um índice de fiabilidade da ordem dos *seis noves* (99,9999%), valor este a que está associada uma interrupção anual acumulada da ordem dos 31,5 milisegundos, impossível de ser alcançado com os sistemas e tecnologias tradicionais.

Esta comunicação analisa o problema da desadequação entre a qualidade disponibilizada pelas distribuidoras e as necessidades das cargas da nova economia. São delineadas as metodologias utilizadas para a maximizar a utilidade alcançável com a qualidade actualmente disponível, bem como apresentadas algumas das tecnologias que o tornam possível.

## **Palavras Chave**

*Qualidade da energia eléctrica, tecnologias reparadoras, "Ride Through Capability", armazenamento de energia eléctrica, SMES, "Flywheels", Super Condensadores, DVR's, "PQ Costs", produtividade industrial, aumento da competitividade.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Devido aos grandes avanços tecnológicos a que temos vindo a assistir, o tipo de utilização que damos hoje à energia eléctrica é radicalmente diferente daquele que lhe era dado há duas ou três décadas atrás. Grande parte das cargas actuais são baseadas em dispositivos electrónicos sensíveis tais como transístores, circuitos integrados, microprocessadores, IGBT, etc. Todos estes elementos vieram permitir o uso da electricidade de uma forma mais eficiente e o controlo mais preciso sobre os processos, mas simultaneamente trouxeram também perturbações muito significativas à qualidade da energia. Devido à sua não linearidade característica, os novos dispositivos são simultaneamente causadores de alguns dos problemas na qualidade da energia na actualidade e as maiores vítimas dessa falta de

qualidade, pois são altamente sensíveis às variações dos parâmetros característicos (e da qualidade!) da energia que recebem. Perturbações que antes constituíam apenas um inconveniente, podem hoje causar a falha global dos sistemas onde tais dispositivos se encontram inseridos. Este cenário tem vindo a agravar-se continuamente, pois cada vez mais energia é consumida por cargas não lineares. Segundo estimativas recentes, cerca de 60% de toda a energia eléctrica actualmente produzida é consumida por este tipo de cargas e em 2010 estima-se que esse valor seja da ordem dos 80% [1]. Em alguns sectores, como o dos serviços, este valor é já muito próximo dos 100%.

Por outro lado, devido ao facto de a concorrência ser uma realidade à escala planetária, as margens de rentabilidade associadas à laboração de muitos sectores são hoje marginais. Estas razões levam a que a qualidade de serviço actualmente disponibilizada pelas distribuidoras constitua um **factor crucial para a competitividade**; tendo este tema vindo a captar uma atenção crescente por parte de todas as entidades envolvidas no sector. As áreas mais sensíveis são as das indústrias de processo contínuo e as intensivas em tecnologias de informação, ou a denominada economia digital, que necessita hoje de energia eléctrica com "*qualidade digital*". Devido à natureza de muitos dos processos, eles são concebidos para laborar sem interrupções. Quando essas ocorrem provocam os denominados "*Power Quality Costs*" que se traduzem quase sempre em valores muito avultados [2].

Perante estes factos é fundamental que todos os agentes que se relacionam com o sector da energia eléctrica possuam uma visão alargada, bem estruturada e bem informada sobre a problemática da qualidade da energia eléctrica, devido a esta constituir um factor de produção com cada vez maior importância.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DE SERVIÇO ACTUAL

Grande parte da energia eléctrica hoje consumida é ainda produzida em grandes centros de produção. Após a geração a energia é transportada, através de um complexo sistema de redes de transporte e distribuição, até aos clientes. A este sistema que classificamos de tradicional passaremos a designar por sistema de Produção, Transporte e Distribuição de energia eléctrica (P&T&D). De um modo geral, durante o percurso a energia fica exposta a um conjunto de factores perturbadores, alguns inevitáveis, que exercem influências cumulativamente degradantes sobre a sua qualidade; onde se incluem os seguintes: 1. Descargas atmosféricas, 2. Quedas de tensão (e sobretensões) provocadas pela entrada em serviço (e saída) de grandes cargas, 3. Contornamentos nos isoladores, 4. Variação das indutâncias das linhas devidas às oscilações provocadas pelos ventos, 5. Influência de outras redes interligadas, 6. Agressões físicas e acidentes provocados pela natureza, por animais e pelo homem, estas últimas bastante frequentes sobretudo ao

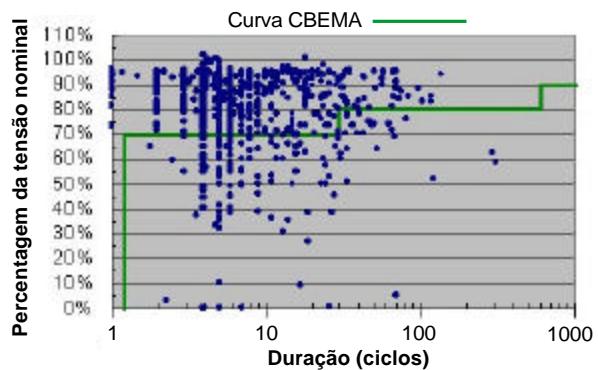
nível da distribuição. Por estes factos, no extremo do sistema de P&T&D a energia foi exposta a um número significativo de factores potencialmente agressores e que por isso podem contribuir significativamente para a sua deterioração [3].

### A qualidade actualmente disponibilizada

Segundo dados recolhidos nos EUA e Europa, cerca de 91% das perturbações que ocorrem nas redes modernas têm uma duração inferior a 2 segundos e 86% duração inferior a 200 milisegundos [4]. A sua maioria são cavas de tensão de severidade variável e micro-cortes quase imperceptíveis para certos tipos de receptores e inofensivos para muitos clientes, mas suficientes (e responsáveis!) para causar a paragem de Variadores Electrónicos de Velocidade [5], de Computadores, de Controladores Lógicos Programáveis, de redes de comunicação, etc.; em suma: – a paragem total de sistemas e processos!

De acordo com outro estudo realizado nos EUA em 1999, em média, uma empresa de serviços evidenciava num mês típico, 106 perturbações na qualidade da energia eléctrica que recebia [6].

A monitorização da qualidade da energia, em MT, à entrada de uma fábrica de semicondutores (um processo de alta criticidade e alvo de cuidados muito especiais por parte da distribuidora) revelou que num período de três anos as perturbações evidenciadas pela instalação foram as apresentadas na Figura 1, onde cada ponto representa uma situação anormal de fornecimento [7].



**Figura 1** - Perturbações nos níveis de tensão à entrada de uma fábrica de semicondutores, representada sobre a Curva CBEMA (ver Figura 2). Fonte: SEMATECH Study (<http://www.powerstandards.com>)

Com base nestes estudos, podemos pois concluir que actualmente as instalações dos clientes estão sujeitas a um grande número de situações com a tensão que lhes é disponibilizada a descer a níveis que causam sérios problemas às suas actividades. As perturbações mais frequentes podem agrupar-se em torno das seguintes classificações: 1. Subtensões ou cavas, 2. Sobretenções, 3. Interrupções de curta duração, 4. Picos transitórios, 5. Desequilíbrios entre fases, 6. Interrupções longas, 7. Distorção harmónica e 8. Tremulação.

## A máxima fiabilidade atingível

Como se depreende do referido atrás, devido a factores imponderáveis e às limitações dos sistemas tradicionais de P&T&D, a qualidade que estes podem garantir apresenta muitas perturbações. Em termos de fiabilidade os seus valores situam-se em torno dos 99,9% de disponibilidade, ao que corresponde uma interrupção anual de cerca de 8,7 horas. Embora este valor possa ser melhorado com uma manutenção mais cuidada e com a modernização de alguns equipamentos críticos; com as infra-estruturas e as tecnologias tradicionais desses sistemas poderá atingir-se, no limite, uma fiabilidade da ordem dos 99,99%, ao que está ainda associada uma interrupção anual acumulada de cerca de 52 minutos [8], valor este considerado insuficiente e desadequado para as exigências de um número crescente de aplicações da nova economia.

### 3. EXIGÊNCIAS DAS APLICAÇÕES ACTUAIS E CONSEQUÊNCIAS DA DESADEQUAÇÃO

Quando se exprime o índice de fiabilidade (ou qualidade) exigida por uma dada aplicação, ou associado a uma determinada tecnologia de fornecimento de energia eléctrica, é cada vez mais frequente utilizar o *número de noves* que a definem para fazê-lo. Na Tabela 1 apresentam-se os valores relevantes neste contexto.

**Tabela 1** - Índices de fiabilidade e tempos de interrupção associados.

Nº de noves	Fiabilidade (%)	Tempos de interrupç. por ano	Tecnologias associadas
3	99,9	8,7 horas	Valor típico disponibilizado pelo sistema tradicional com interligação de redes e centros produtores.
4	99,99	52,5 minutos	Valor máximo atingível com a modernização tecnológica dos sistemas de P&T&D tradicionais.
6	99,9999	31,5 segundos	<b>Valor mínimo exigido pelas cargas da nova economia.</b>
7	99,99999	3,15 segundos	Valor disponibilizado pelas melhores tecnologias de UPS e "Gen-Set" com "Ride Through Capability"
9	99,999999	31,5 miliseg.	Valor a partir do qual se pode considerar que a energia é efectivamente pura e adequada às actuais aplicações da economia digital.

Como podemos constatar pela tabela anterior, com as infra-estruturas tradicionais de P&T&D nunca poderão atingir-se os índices de fiabilidade e qualidade hoje exigidos pelas aplicações digitais que suportam os processos críticos e empresas da nova economia.

## As consequências da desadequação da qualidade ("PQ Costs")

Quando a energia eléctrica disponível para uma dada aplicação não possui a qualidade exigida pela mesma, esta provoca perturbações no funcionamento dos equipamentos, que conduzem inevitavelmente a custos de exploração adicionais (frequentemente designados por "PQ Costs") devidos a: 1. Perdas de informação, 2. Perdas em tempo de produção, 3. Perdas de materiais em vias de fabrico, 4. Custos de re-arranque e sintonia de processos, 5. Custos de substituição ou reparação de equipamentos, 6. Perigos acrescidos para a segurança humana, 7. Perda de credibilidade junto dos clientes, 8. Impactos acrescidos sobre o meio ambiente, etc.; traduzindo-se estes em muitos milhões de Euros para as economias de quase todos os países desenvolvidos. Na Tabela 2 apresentam-se valores para alguns dos sectores mais críticos [9].

**Tabela 2** - Estimativas dos custos provocados por uma hora de interrupção em alguns dos sectores mais críticos (valores em USD).

Actividade económica	Custo da interrupção
Operações na bolsa	6.480.000
Operações com cartões de crédito	2.580.000
Fábrica de semicondutores	2.000.000
Sistema de reservas aéreas	90.000
Supor te sistema telefónico fixo	72.000
Central de comunicações móveis (GSM)	41.000

Fonte: Resource Dynamics Corporation (apresentado na *Conferência PQ 2000 - Boston*).

### 4. METODOLOGIAS QUE TÊM VINDO A SER IMPLEMENTADAS PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS

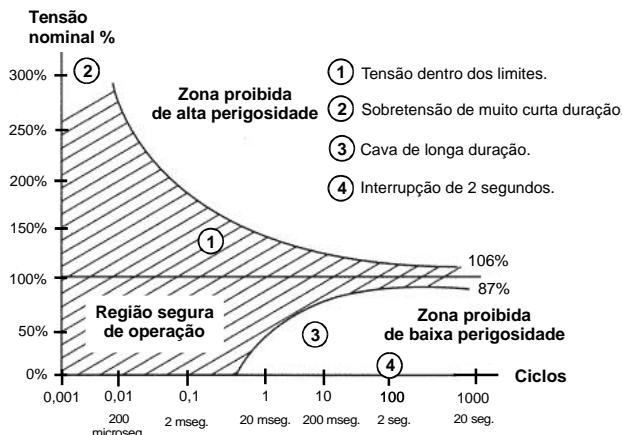
Para minimizar os problemas acima referidos, têm vindo a ser implementadas medidas que se centram essencialmente no estabelecimento de normas que regulamentam:

1. O nível mínimo de qualidade de serviço que as redes devem disponibilizar;
2. O grau de imunidade mínima que as cargas devem possuir, para poderem operar com a qualidade disponibilizada pelos sistemas de P&T&D;
3. O nível máximo de perturbação admissível para todo o tipo de cargas sobre as redes.

Analisamos em seguida, de forma sucinta, cada uma destas áreas.

## Nível mínimo de qualidade de serviço que as redes devem disponibilizar

O estabelecimento de normas nesta área pretende definir um patamar mínimo, e realista, de qualidade de serviço que as distribuidoras devem disponibilizar. De entre as directivas já criadas referimos, a título de exemplo, a norma europeia EN 50.160 que se baseia na curva CBEMA (Figura 2), que serve por sua vez de orientação dos Regulamentos da Qualidade de Serviço (R.Q.S.) em vigor em vários países.



**Figura 2** - Curva CBEMA com a zona de tolerância permitida para a flutuação nos níveis da tensão disponibilizada pelas redes de distribuição.

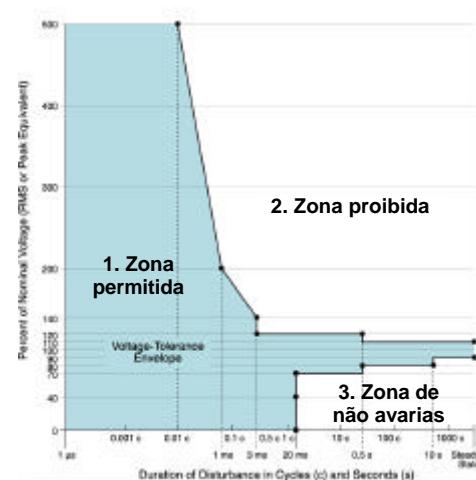
Pela observação da zona a tracejado na figura anterior, podemos visualizar facilmente quais as perturbações que ocorrem dentro da zona permitida e com as quais o cliente terá de lidar com os seus meios; e aquelas que ocorrem fora dessa zona, e que constituem motivo de reclamação à distribuidora. Chamamos ainda a atenção para as duas zonas proibidas: A *zona proibida de alta perigosidade*, onde podem ocorrer sobretensões severas e de longa duração, com efeitos nefastos tanto ao nível do desempenho dos equipamentos como da sua possível destruição; A *zona proibida de baixa perigosidade*, onde podem ocorrer subtensões de severidade e duração muito diversa e que se reflectem sobretudo no desempenho dos equipamentos. A este nível as novas *tecnologias reparadoras*, analisadas adiante, e a "*Ride Through Capability*", referida no ponto seguinte, desempenham hoje um papel fulcral na minimização dos inconvenientes causados pelas perturbações que se situam nesta região [10].

## Grau de imunidade mínima que as cargas devem possuir

Se, como vimos, não é possível garantir com os sistemas de fornecimento de energia eléctrica tradicionais, um nível de qualidade adequado às aplicações mais críticas; é então necessário desenvolver medidas que permitam aos equipamentos operar com a qualidade possível, sem comprometerem muito seriamente a suas funcionalidades. Essa capacidade

designa-se na literatura inglesa por "*Ride Through Capability*" que significa – capacidade de sobrevivência a ambientes hostis –, e consiste no fundo em dotar as cargas e instalações com capacidade para poderem operar em ambientes "agressivos", do ponto de vista das perturbações na qualidade da energia eléctrica.

Como ponto de partida para a implementação prática deste princípio, as associações internacionais de fabricantes de material eléctrico/electrónico definiram uma curva algo semelhante à curva CBEMA (denominada por curva CBEMA/ITIC), (Figura 3) que pretende no fundo traduzir o seguinte: – Se não é possível garantir um nível de qualidade de serviço superior ao estipulado pela curva CBEMA (a custos comportáveis!), então os equipamentos deverão poder operar sem problemas com as tensões que se situem dentro da zona de tolerância da sua zona permitida. Para perturbações fora dessa região, deverão ser os clientes a dotar-se de meios e equipamentos que lhes permitam superar esses inconvenientes, ou então contratar um nível de qualidade de serviço superior que, como é óbvio, envolve equipamentos dispendiosos e custos adicionais.



**Figura 3** - Curva CBEMA/ITIC que define as perturbações a que os equipamentos devem ser imunes.  
Fonte: (<http://www.itic.org>).

## Perturbação máxima admissível para todo o tipo de cargas

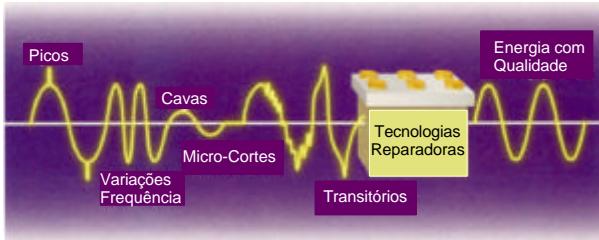
Como referimos na Introdução, devido à profunda alteração da natureza das cargas, decorrente da utilização massiva de elementos não lineares, estas são hoje bastante poluentes (emissoras de harmónicos para a rede). Assim, um princípio básico para controlar a evolução da degradação progressiva dos índices de qualidade da onda, que se tem vindo a observar nos sistemas de distribuição, será o de estabelecer níveis de perturbação máxima admissível para todo o tipo de cargas a ligar ao sistema, agindo preventivamente sobre

essas causas. Neste âmbito têm vindo a ser criadas normas, já em vigor em muitos países, e de onde se destacam: as normas IEEE 519 (nos EUA) e a série de normas IEC 61000-x-x (na Europa), que estabelecem valores máximos para a Taxa Individual de cada harmónico, bem como a Taxa de Distorção Harmónica Total – THD ("Total Harmonic Distortion") para as cargas, quer individualmente, quer para as instalações totais e para os pontos de interligação nos sucessivos níveis de tensão dos sistemas de distribuição e transporte.

## 5. NOVAS TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS

### Tecnologias reparadoras da qualidade da energia

Dadas as características da qualidade da energia eléctrica actualmente disponibilizada pelos sistemas de fornecimento tradicionais; se for possível dotar os equipamentos e/ou instalações sensíveis de dispositivos locais armazenadores de energia, que possam suprir uma dada quantidade de energia durante a ocorrência de perturbações, estaremos a contribuir para a reparação da *qualidade da onda*, a garantir a *continuidade de fornecimento* e a limitar a propagação dessas perturbações às cargas sensíveis. A Figura 4 exemplifica este conceito.



**Figura 4** - Filosofia de actuação das tecnologias reparadoras.

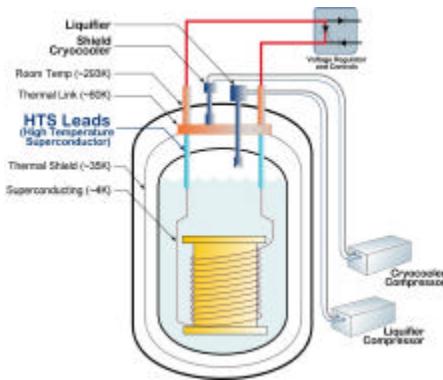
Fonte: Adaptado do site da *Energy Storage Association* (<http://www.esa.org>).

A protecção facultada por estas tecnologias pode ainda ser efectuada ao nível de um dado *componente crítico*, ao nível de um *receptor específico*, ao nível de uma *instalação completa* ou até de um *grupo de instalações*. Verificando-se que quanto mais próximo do componente crítico for efectuada a protecção, maior é a sua eficácia e menor o custo da solução.

As tecnologias reparadoras a seguir referidas visam contribuir para minimizar as situações referidas e caracterizam-se essencialmente por uma *grande densidade de energia* (capacidade para armazenarem grandes quantidades de energia eléctrica em pouco volume) e, por uma *grande densidade de potência* (serem capazes de disponibilizar essa energia de uma forma muito rápida).

### Bobinas Supercondutoras (SMES)

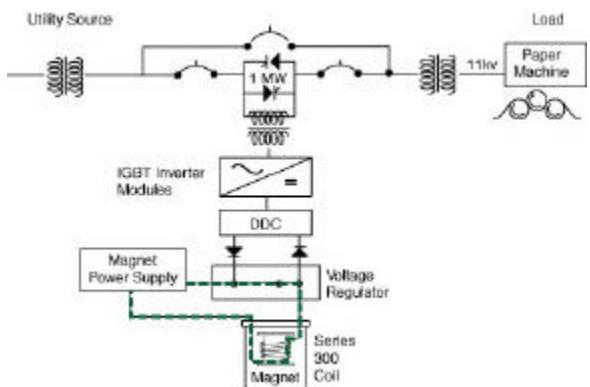
Nas bobinas supercondutoras ou *SMES* ("*Superconducting Magnetic Energy Storage*"), a energia é armazenada no campo magnético de uma indutância cujas espiras são constituídas por material supercondutor. Devido à sua resistência eléctrica quase nula, a corrente pode fluir na bobina em circuito fechado durante muito tempo, permitindo manter energia armazenada, que pode ser utilizada a qualquer instante para suprir deficiências de curta duração em cargas expostas a fenómenos perturbadores (Figura 5).



**Figura 5** - Elemento armazeador de energia numa SMES. Fonte: ([www.amsuper.com](http://www.amsuper.com)).

O funcionamento de uma *SMES* quando aplicada à protecção de uma instalação crítica é apresentado nas Figuras 6 e 7 e decorre do seguinte modo:

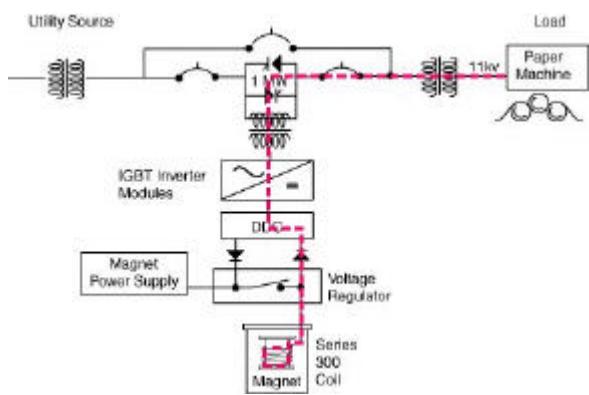
- Em situação normal de operação (na ausência de perturbações), a energia flui normalmente da empresa fornecedora para a instalação. A bobina do acumulador magnético supercondutor é percorrida por uma corrente D.C. através do interruptor *Voltage Regulator*, que se encontra fechado. O Módulo *Magnet Power Supply* garante que a bobina se encontre sempre com a carga máxima, aumentando o valor da corrente D.C. nas espiras sempre que esta diminui devido a pequenas perdas.



**Figura 6** - Situação normal de operação.

- Em situação de reparação (quando ocorre uma perturbação, subtensão ou micro-corte na alimentação

*(em qualquer das fases que chega à instalação), a electrónica deste dispositivo abre instantaneamente o interruptor *Voltage Regulator* e o módulo Inversor (com IGBT's) injeta energia na(s) fase(s) do sistema trifásico da rede para reparar o defeito surgido. A instalação fica assim a ser alimentada a partir da bobina durante o tempo de duração da perturbação. Uma vez superada a situação, a bobina volta a carregar-se e fica disponível para uma nova actuação.*



**Figura 7** - Situação de reparação.

Quando colocada junto dos Postos de Transformação, esta tecnologia permite efectuar a protecção integral de instalações fabris ou de grande número de clientes [11].

### Baterias Electromecânicas ou "Flywheels"

As baterias electromecânicas são dispositivos que armazenam energia sob a forma cinética, numa massa inercial (volante de inércia ou "Flywheel") que roda a grande velocidade.



**Figura 8** - Aspecto de uma Bateria Electromecânica com massa inercial cilíndrica, em material compósito.

Fonte: Beacon Power ([www.beaconpower.com](http://www.beaconpower.com)).

A quantidade de energia armazenada é dada por:  $E_C = 1/2 (I \cdot W^2)$ , onde  $I$  é o momento de inércia do volante e  $W$  a sua velocidade de rotação. Para maximizar o rendimento da bateria, o atrito é minimizado através de dois sub-sistemas: 1. O volante roda sob o efeito de chumaceiras magnéticas, que pela ação de campos repulsivos o fazem levitar, girando na ausência de contacto físico com qualquer elemento; 2.

O volante é inserido num invólucro fechado, onde se faz vácuo.

Intrinsecamente integrado no volante (rotor) encontra-se um conjunto de pares de pólos magnéticos que interactuam com um conjunto de bobinas estatóricas acopladas ao invólucro. Este conjunto (situado no rotor e no estator) implementa uma máquina eléctrica de imanes permanentes, sistema motor/generator, que permite o fluxo de energia do exterior para a bateria (traduzindo-se num aumento da velocidade de rotação) ou em sentido contrário (provocando uma redução dessa velocidade).

Os volantes de inércia utilizados por alguns fabricantes são constituídos por aço de alta resistência, que permite alcançar velocidades de rotação de algumas dezenas de milhar de r.p.m., mas encontram-se também já disponíveis sistemas que utilizam volantes de materiais compósitos que podem atingir velocidades da ordem das centenas de milhar de r.p.m. com densidades de energia muito superiores [12] (Figura 8).

Como principais vantagens desta tecnologia, há a salientar as seguintes: 1. Capacidade para debituar elevada potência instantânea; 2. Extremamente robusta às cargas e descargas; 3. Muito compacta, 1/10 do peso da alternativa com baterias electroquímicas e ocupam 1/3 do espaço; 4. Pode operar sob condições de grandes variações térmicas; 5. Tempos de carga muito rápidos; 6. Tempos de vida útil muito longos, sem elevada necessidade de manutenção; 7. Sistemas silenciosos e não poluentes; 8. Após o tempo de vida útil são 100% recicláveis.

### Super Condensadores

A utilização de condensadores como acumuladores de energia esteve sempre bastante condicionada pelo facto de com as tecnologias até à pouco disponíveis se conseguirem capacidades e densidades de energia relativamente baixas, para além de apresentarem significativas correntes de fuga, o que conduzia à sua auto-descarga relativamente rápida. Os métodos de construção destes dispositivos têm vindo no entanto a ser aperfeiçoados, recorrendo a novos materiais e geometrias que permitem construir condensadores com capacidades (densidades de energia e de potência) até há pouco tempo impensáveis. Estes designam-se hoje por *super condensadores*, e desempenham um papel importante como alternativas para o armazenamento de energia eléctrica e na construção de aparelhagem mais robusta e com capacidade de sobrevivência a ambientes hostis ("Ride Through Capability") [13].

Os avanços mais recentes neste domínio permitem já obter super condensadores com capacidades de milhares de Farad em volumes extremamente reduzidos (Figura 9), conferindo-lhes um enorme potencial para o armazenamento de energia eléctrica e para suprir energia nas mais diversas situações, com grandes vantagens sobre outras tecnologias, atingindo-se densidades de potência da ordem dos 3000 W/litro e de energia na casa dos 50 Wh/Kg [14].



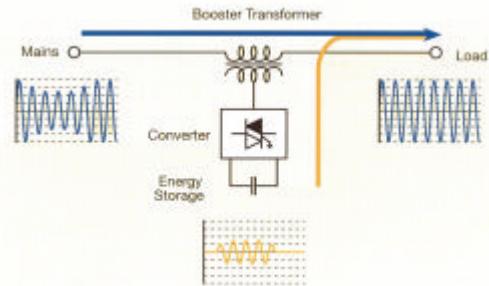
**Figura 9** - Super condensador com 2500 F (7200 J).  
Com dimensões: 160x60x60 mm, e peso: 720 g.  
Fonte: [www.powercache.com](http://www.powercache.com).

Entre as vantagens dos super condensadores relativamente às outras tecnologias de armazenamento de energia, aqui referidas, há a salientar: 1. Tempo de vida útil muito longo; 2. Disponibilizam correntes de descarga muito elevadas; 3. Ausência de manutenção; 4. Tempos de carga e de descarga muito curtos; 5. São fabricados com materiais não tóxicos, abundantes e relativamente baratos e 6. Podem operar em situações ambientais muito adversas. Estes são já utilizados como "buffers" de energia eléctrica para os mais diversos dispositivos electrónicos sensíveis, permitindo a sua correcta operação quando a qualidade da energia apresenta perturbações.

Enquanto que as *SMES* e as "*Flywheels*" são sistemas mais vocacionados para a protecção de grandes cargas, os super condensadores estão especialmente dotados para a protecção individual de dispositivos. Pois, esta tecnologia permite facilmente construir pequenos sistemas, adequados à dimensão das cargas a proteger individualmente, e a um custo muito competitivo.

## DVR

Os *DVR* ("Dynamic Voltage Restorers") estão especialmente direcionados para minimizar os efeitos das subtensões ou cavas que têm origem na rede. São utilizados como uma fonte de tensão, que é normalmente ligada em série entre as cargas e a rede de distribuição. A tensão aplicada à carga é medida, e se esta for diferente do valor pretendido, o *DVR* compensa o valor de tensão em falta para que a tensão nas cargas seja constante. Um *DVR* também pode ser utilizado para corrigir desequilíbrios entre fases nos sistemas trifásicos. A energia necessária pode ser armazenada em qualquer um dos dispositivos referidos nesta secção, sendo mais comum a utilização de condensadores. À medida que a tecnologia dos supercondensadores evolui, estes tornam-se numa alternativa mais eficaz e com maior utilização nestas aplicações. Na Figura 10 é apresentado o princípio de funcionamento dos *DVR* [15].



**Figura 10** – Princípio de funcionamento de um *DVR*.  
Fonte: ABB Automation.

## 6. CONCLUSÃO

Com a presente comunicação efectuou-se uma descrição muito sucinta em torno das metodologias e novas tecnologias para minimizar os impactos da insuficiente qualidade de serviço disponibilizado pelas redes tradicionais. Em termos de síntese podemos afirmar que é **fundamental** que os agentes envolvidos na definição de: – políticas energéticas, – construção de infra-estruturas, – aquisição de equipamentos, – exploração de instalações de produção, transporte, distribuição e – utilização de energia eléctrica, possuam uma visão o mais alargada e rigorosa possível sobre esta problemática. Só com uma eficaz sensibilização e possuindo conhecimento científico actualizado, é possível delinear estratégias e aplicar os recursos económicos, sempre escassos, da forma mais eficiente possível. Em termos práticos estas medidas devem traduzir-se na **actuação preventiva** dos diversos agentes, em torno dos seguintes domínios. Primeiro, dotando-se de conhecimentos relacionados com as novas metodologias e tecnologias ao serviço da qualidade da energia eléctrica, em uso nos países e economias mais desenvolvidos. Segundo, tentando maximizar a qualidade de serviço que os sistemas de P&T&D tradicionais permitem atingir, através da selecção e aplicação criteriosa de novos equipamentos que o mercado já disponibiliza. Terceiro, efectuando uma selecção rigorosa dos equipamentos receptores de energia eléctrica, com base em critérios que tenham em conta a sua maior imunidade e eficiência, e que simultaneamente sejam menos poluidores; apresentando desse modo uma maior robustez aos fenómenos perturbadores.

A combinação adequada destas medidas induz – de forma directa – enormes benefícios na melhoria da produtividade e no aumento da competitividade de todos os sectores económicos em qualquer país.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Bash, Vladi; "The Future of Power Delivery in the 21st Century", EPRI's Power Delivery Group, <http://www.epri.com>, Setembro de 1999.

- [2] Sheble N.; *"Technology Thrives Paper Market is Hot"*, Revista INTECH da ISA, Maio de 1999.
- [3] Lonie, Bruce; *"The Power Quality Enemy Within"*, Revista Power Quality Today Online, <http://www.powerquality.com>, Março de 1998.
- [4] Key, Tom; *"The Two Seconds Problem"* ASC and EPRI Research, <http://www.amsuper.com>, Março de 2000.
- [5] Langley R.; *"What Causes ASDs to Trip During Voltage Sags"*, EPRI PEAC Corporation, Knoxville, Tennessee, Revista Power Quality Assurance, Outubro de 1999.
- [6] Conroy, Martin; *"Are You Ready for The Electrical Needs of Today and Tomorrow?"*, Computer Power Corporation On-Line, <http://powerquality.copper.org>, Dezembro de 1999.
- [7] Borbely, Anne-Marie; *"How Good is Your Power"*, Energy User News, Setembro de 2000.
- [8] Huber, Peter; *"The PowerChip Paradigm"*; The Huber Mills Digital Power Report, Issue #2, Setembro de 1999.
- [9] Taylor, Peter; *"Costs of Power Quality Problems"*, Power Quality Discussion Forum, <http://www.powerquality.com>, Agosto de 2000.
- [10] Gellings, Clark; *"Power Woes Cost US up to \$188 Billion a Year Study"*; EPRI STUDY at Primedia Business Magazine & Media, <http://industryclick.com>, 16 de Julho de 2001.
- [11] Amsuper; *"Superconductivity is Capturing the Imagination of the World"*; <http://www.amsuper.com>, Junho de 1999.
- [12] Stahl, Brian; *"Acumentrics Introduce Composite Flywheel Based 250 KVA Full On-line UPS - No batteries required"*, <http://www.acumentrics.com>, Novembro de 1999.
- [13] Siemens; *"High Energy Density with Ultracapacitors - Bursting with Power"*, Siemens Matsushita Components, Fevereiro de 2002.
- [14] Maxwell; *"The Leader in High-Power Energy Storage"*, Maxwell Power Cache Ultracapacitors"; <http://www.powercache.com>, Setembro de 2002.
- [15] Dahler, P.; *"Requirements and Solutions for Dynamic Voltage Restorer"*, ABB Automation, IEEE PES 2000 Congress, Outubro de 2000.