

## Sistemas de Automação de Redes de Energia

**Tecnologia portuguesa de topo é utilizada no maior laboratório de pesquisa no domínio da física de partículas, localizado perto de Genebra, Suíça, dos dois lados da fronteira entre este país e a França, mesmo em frente aos Alpes.**

O CERN e a EFACEC colaboram juntos desde 2000, no âmbito da supervisão e controlo de redes eléctricas de energia.



Todas as imagens referentes ao CERN, reproduzidas neste artigo, são *copyright* do CERN.

Georges Burdet <sup>1</sup>, Alberto Bernardo <sup>2</sup>

### 1. Introdução

A Organização Europeia para a Investigação Nuclear (CERN) é uma organização intergovernamental com 20 Estados-membros<sup>1</sup>. Tem assento em Genebra, mas abrange território fronteiriço compreendido entre a Suíça e a França. O seu objectivo é providenciar infra-estruturas para facilitar a colaboração entre Estados Europeus no âmbito da pesquisa na área da física de partículas de alta energia. Para este fim, o CERN especifica, constrói e opera os necessários aceleradores de partículas, bem como as demais áreas experimentais associadas.

O CERN tem desempenhado um papel importante para a comunidade científica, com elevado impacto no dia-a-dia de cada pessoa. Muitos conhecem e usam a WEB, acedendo-lhe através de *browsers* comerciais digitando *www...*, acrónimo de *world wide web*, mas poucos saberão que a mesma foi inventada no CERN.

Outros importantes resultados da actividade do CERN são usados, por exemplo, em medicina, nomeadamente na terapia do cancro, bem como noutras aplicações para a indústria.

O CERN, para além de ter merecido por diversas vezes a atribuição de Prémios Nobel por parte da Academia Sueca, galardoados a colaboradores seus, também atrai outros laureados que pretendem utilizar as suas infra-estruturas de pesquisa.

Actualmente, mais de 5000 cientistas de institutos de pesquisa de todo o mundo utilizam as instalações do CERN para as suas experiências.

Os principais aceleradores de partículas que operam em cascata são o *Proton-Synchrotron* (PS), o *Super Proton-Synchrotron* (SPS) e, num futuro próximo, o *Large Hadron Collider* (LHC).

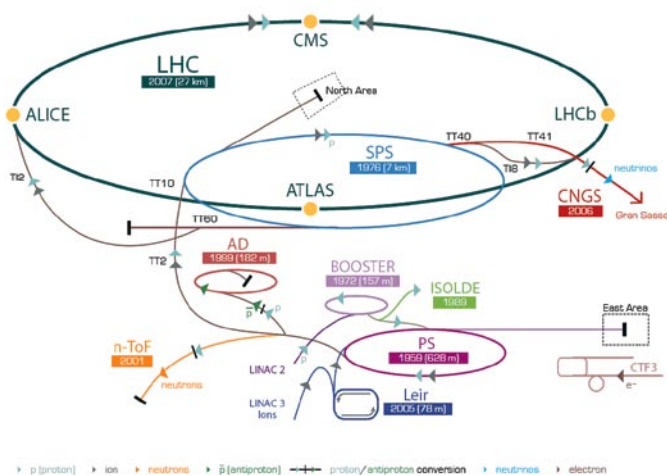
O LHC, próximo acelerador de partículas do CERN a entrar em serviço, está actualmente na fase de comissionamento. O LHC permitirá acelerar e fazer colidir feixes de prótons com uma energia de 7 TeV<sup>2</sup>.

O LHC está instalado num túnel, cujo formato corresponde a uma circunferência de 27 km de perímetro, a cerca de 100 m de profundidade, o qual alojava outro acelerador, o *Large Electron Positron Collider* (LEP).

O LHC tem 8 pontos de acesso dispersos ao longo do túnel em anel, os quais permitem aceder à infra-estrutura subterrânea a partir da superfície.

O desenho do LHC é baseado em ímanes supercondutores de dupla abertura que operam num banho de hélio super-fluido a 1,9 K. A

### CERN Accelerator Complex



<sup>1</sup> O CERN, Organização Europeia para a Investigação Nuclear, é o laboratório mundial mais importante no âmbito da física de partículas. Tem a sua sede em Genebra. Actualmente, os Estados-membros são os seguintes: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Itália, Noruega, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça. Os Estados Unidos da América, a Federação Russa, Índia, Israel, Japão, Turquia, a Comissão Europeia e a UNESCO têm o estatuto de Observador.

respectiva colocação em serviço está prevista para o ano 2008. Outras experiências continuam a ser executadas em paralelo.

Desde 2000, a empresa portuguesa EFACEC tem vindo a colaborar com o CERN, fornecendo sistemas SCADA para gestão da rede de energia do CERN, bem como Unidades Remotas Terminais (URTs) para supervisão e controlo de subestações.

O termo SCADA é o acrónimo em inglês para *Supervisory Control and Data Acquisition*. Nos sistemas eléctricos de energia, as soluções SCADA providenciam ferramentas operacionais, como aquisição de dados, tratamento de alarmes, registo de dados e de eventos, interface humana-máquina com diagramas esquemáticos e listas de consulta, etc., para utilização no âmbito do controlo e supervisão de redes de energia.

Tipicamente, as empresas que utilizam sistemas SCADA, como o CERN, dispõem de Centros de Comando, nos quais as ditas ferramentas estão disponíveis para os operadores da rede eléctrica. Estes Centros de Comando comunicam com as URTs, localizadas em pontos estratégicos da rede eléctrica, tais como em subestações. As funções de supervisão e operação da rede são efectuadas em tempo real. Tal, permite que os operadores da rede sejam informados sobre eventuais situações de exploração anormais, ajudando-os a otimizar os passos necessários para executar as manobras de recuperação, minimizando o impacto de quaisquer anomalias.

De forma a cumprir com os requisitos do CERN, a EFACEC instalou uma versão SCADA/DMS, correspondente a uma implementação SCADA específica, destinada a gerir a rede de distribuição eléctrica do CERN, tal como mais à frente se explica.

A EFACEC fornece sistemas SCADA para empresas de energia do sector público e privado, bem como para empresas de transporte ferroviário cuja fonte de energia é eléctrica. No âmbito das suas prestações, a EFACEC instalou e colocou em serviço vários sistemas de gestão de redes, subestações e centrais produtoras de energia, bem como sistemas de gestão de redes de tracção eléctrica, em vários países, tais como Portugal, Espanha, Itália, Roménia, República Checa, Islândia, Marrocos, Argélia, Tunísia, Venezuela, El

Salvador, Colômbia, Chile, Brasil, Tailândia, Vietname e Singapura, entre outros.

## 2. Concurso Aberto aos Estados-membros para Fornecimento de Sistemas de Supervisão e Controlo de Redes de Energia

Devido à complexidade da rede de energia do CERN, quer em termos das necessidades energéticas, quer em termos da sua topologia interna, bem como devido às severas condições de exploração dos aceleradores de partículas e de outras experiências, exige-se uma elevada disponibilidade no fornecimento da energia eléctrica.

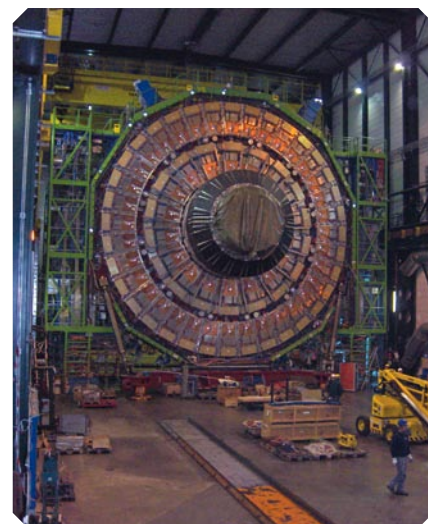
De forma a dar cumprimento a este requisito, e com o objectivo de substituir o antigo sistema de supervisão construído pelo próprio CERN, bem como dotar os operadores da rede de condições de ergonomia e de dispositivos de interface humana-máquina adequados, o CERN lançou um concurso internacional com o intuito de seleccionar um fabricante de sistemas SCADA oriundo de um dos Estados-membros, cujo processo de candidatura foi concluído em 1998.

A EFACEC participou nesse concurso, tendo a sua oferta sido considerada tecnicamente adequada aos exigentes requisitos do CERN, bem como competitiva. Como resultado, o CERN assinou um contrato de fornecimento com a empresa portuguesa que, desde então, tem vindo a fornecer o centro de comando baseado numa solução SCADA/DMS, e continua a fornecer e a integrar URTs para as subestações de superfície e subterrâneas. No curto prazo, está previsto atingir o número total de 56 grandes URTs.

Os sistemas fornecidos são baseados em soluções já provadas na indústria, respectivamente, o SCATE X DMS para o centro de comando, e a plataforma distribuída de supervisão e controlo CLP 500RTU para as subestações.

## 3. Descrição do LHC e das suas Experiências

O LHC produzirá colisões frontais entre dois feixes de partículas do mesmo tipo, quer prótons, quer iões de chumbo. Os feixes serão criados na cadeia existente de aceleradores do CERN e, posteriormente, serão injectados no LHC. Ímanes supercondutores fun-



cionando a uma temperatura extremamente baixa guiarão os feixes através do anel.

Cada feixe consistirá, aproximadamente, de 3000 grupos de partículas, e cada grupo conterá 100 biliões de partículas. Quando os grupos se cruzam, haverá apenas cerca de 20 colisões entre os 200 biliões de partículas. No entanto, os grupos cruzar-se-ão cerca de 30 milhões de vezes por segundo, por isso, o LHC poderá gerar até 600 milhões de colisões por segundo.

## ALICE



No âmbito de uma colaboração, designada por ALICE, está a ser construído um detector de iões pesados dedicado, que lhe herda o nome, para exploração do potencial físico único das interações núcleo-núcleo ocorridas nos processos de energia do LHC. O objectivo é estudar a física da matéria que interage fortemente sob densidades extremas de energia, onde a formação de uma nova fase da matéria, o plasma *quark-gluon*, é esperada.

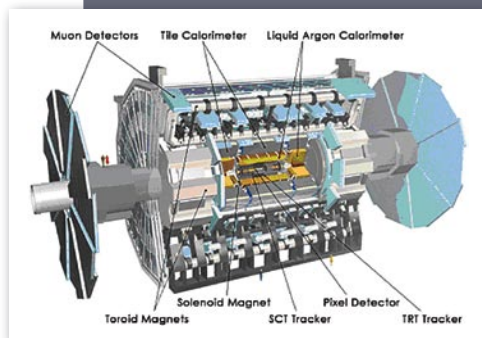
Para este fim, a experiência ALICE pretende efectuar um estudo completo dos hadrons, electrões, múons e fótons produzidos na colisão de núcleos pesados. O ALICE estudará também colisões entre prótons. O resultado de ambas as experiências destina-se a ser comparado com o da experiência de colisões entre partículas de chumbo, nas áreas da física.

2 O electrão-volt é uma unidade de medida de energia. O seu símbolo é eV. Um electrão-volt é a quantidade de energia cinética ganha por um único electrão quando acelerado por uma diferença de potencial eléctrico de um volt, no vácuo. 7 TeV são 7 biliões de eV ( $7 \times 10^{12}$  eV).

# → ANÁLISE

O LHC providenciará colisões às mais altas energias jamais observadas em condições laboratoriais. Quatro detectores, nomeadamente ALICE, ATLAS, CMS e LHCb, observarão as colisões para que os cientistas possam explorar novos territórios no domínio da matéria, energia, espaço e tempo.

## ATLAS

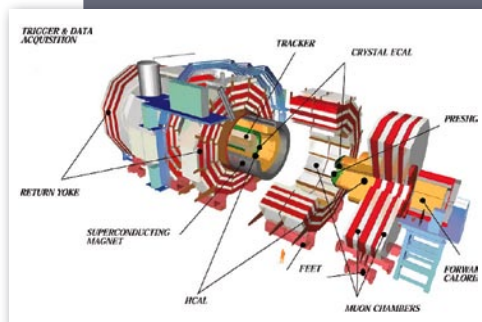


O ATLAS é uma experiência da física de partículas que explorará a natureza fundamental da matéria, bem como as forças básicas que modelam o nosso universo.

O detector ATLAS procurará fazer novas descobertas na área das colisões frontais de prótons de energia extremamente alta.

O ATLAS é um dos maiores esforços de colaboração internacional alguma vez tentados nas ciências da física. Há 1900 cientistas, incluindo 400 estudantes, que participam, de mais de 164 universidades e laboratórios.

## CMS

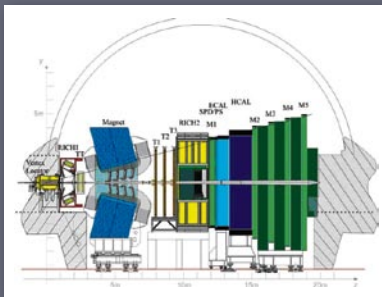


O CMS é um detector de uso genérico, capaz de estudar vários aspectos das colisões de prótons efectuadas a uma energia de 14 TeV. Contém subsistemas para medir a energia e a quantidade de movimento de fótons, electrões, múons e outros produtos das colisões.

É constituído por um localizador baseado em silício envolvido por um calorímetro electromagnético de cristal cintilante, o qual está envolvido com um calorímetro de amostragem para *hadrons*.

O localizador e o calorímetro são suficientemente compactos para caberem dentro da bobina do CMS, a qual gera um potente campo magnético de 4 T.

## LHCb



O detector LHCb é uma ferramenta especializada, desenhada no âmbito das experiências de física do *meson B*. Acontece que, no LHC, provavelmente emergirão *mesons B* em resultado das colisões, próximos da direcção do feixe, por isso, o detector LHCb foi desenhado de forma a apanhar partículas com baixo ângulo. Os seus elementos chave serão o detector de vertex, que medirá o trajecto de partículas carregadas, e os seus detectores RICH (*Ring-Imaging Cherenkov*), que identificarão diferentes tipos de partículas.

### 4. A Rede Eléctrica do CERN

As redes eléctricas do CERN foram construídas nos anos 60 para o complexo de Meyrin, nos anos 70 para o complexo de Prévessin e para o SPS (o SPS foi inaugurado em 1975), e nos anos 80 para o LEP (colocado em serviço em 1989, máquina anterior, da qual se reutiliza o túnel para o LHC). Nos últimos anos, várias subestações foram remodeladas ou construídas para alimentar os serviços do LHC. Actualmente, estão em curso vários programas de consolidação, para renovação de redes, subestações e equipamento do CERN.



A rede eléctrica do CERN é abastecida pela EOS (*Energie Ouest Suisse*), a empresa regional suíça de transmissão, através de uma linha de 130 kV, e pela RTE (*Réseau Transport Électrique*), a empresa nacional francesa de transmissão, através de uma linha de 400 kV.

Há dois pontos de injeção na rede, através

de subestações, que correspondem às fontes previamente citadas.

A subestação principal de 400/66/18 kV, situada em Prévessin, França, com saídas em 66 kV e em 18 kV, pertence ao CERN, cabendo-lhe também a exploração.

A subestação de 130 kV, situada em Meyrin, Suíça, caracteriza-se por dispor de equipamentos de alta tensão que pertencem e são operados pela SIG (*Services Industriels de Genève*), a empresa local de distribuição de energia, bem como por dispor de equipamentos de média tensão, com as respectivas saídas em 18 kV, que pertencem e são operados pelo CERN.

A rede completa do CERN é alimentada pela fonte de 400 kV da RTE durante o período de operação dos aceleradores. É alimentada pela fonte de 130 kV da SIG/EOS durante os períodos em que está desligada, o que tipicamente ocorre no Inverno. A comutação de uma fonte para a outra é executada, sem interrupção de serviço, duas vezes por ano. O funcionamento dos aceleradores com a rede alimentada a 130 kV não é possível.

O CERN tem uma rede de 66 kV, por cabo, a qual assegura o transporte da energia desde a subestação de Prévessin até aos pontos de injeção de alta energia do LHC. Os utilizadores finais são alimentados a 18 kV, 3,3 kV e 400 V.

A rede de distribuição de 18 kV cobre todas as infra-estruturas do CERN. Está dividida em várias partes, consoante o tipo de cargas: cargas pulsadas, cargas estáveis, os serviços gerais da infra-estrutura de Meyrin, os serviços ge-

rais da infra-estrutura de Prévessin, o SPS, que, como já vimos, é outro acelerador do CERN que será usado como injector de prótons para o LHC, outros aceleradores e áreas experimentais e, finalmente, as áreas do LHC.

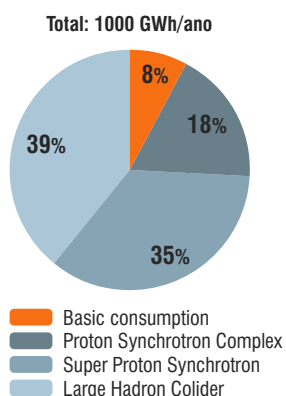
Os aceleradores geram uma enorme flutuação da potência activa e reactiva, bem como

injectam muitas componentes harmónicas na rede. Como exemplo, o acelerador do SPS opera num ciclo pulsado de 18 s, onde o consumo de potência varia em 150 MW quando o feixe é gerado com uma energia de 450 GeV<sup>3</sup>.

De forma a limitar a poluição na rede (oscilação de tensão e distorção harmónica), a rede está dividida em vários sectores. Os sectores contendo uma quantidade elevada de conversores de potência para alimentação dos ímanes, estão equipados com sistemas de compensação e filtragem. As flutuações do consumo de potência reactiva são compensadas com reactâncias saturadas ou com reactâncias controladas por tiristores (TCR). As correntes harmónicas são eliminadas por filtros, cujas baterias de condensadores geram simultaneamente a potência reactiva necessária.

## 5. Consumo de Energia

Os aceleradores de partículas e os detectores, bem como os equipamentos da infra-estrutura, necessitam de energia eléctrica. Uma grande fatia do consumo de energia do LHC será usada para manter os sistemas dos ímanes supercondutores à temperatura de operação. Graças à tecnologia de supercondutores utilizada nos seus ímanes, o consumo nominal do LHC não é muito maior do que o do SPS, ainda que o LHC seja muito maior e mais potente em termos de energia.



Os aceleradores estão parados durante o Inverno de forma a serem submetidos a tarefas de manutenção, num período em que os custos de energia são maiores. A carga mínima do CERN é de cerca de 40 MW, enquanto que a carga média atinge 130 MW durante o Verão, quando os aceleradores PS e SPS estão em funcionamento. Pelo facto de serem máquinas de consumo pulsado, a respectiva carga de pico atinge cerca de 250 MW. Com o

LHC em funcionamento, a carga média aumentará para 230 MW.

O consumo nominal anual de electricidade atinge os 1000 GWh quando todos os aceleradores estão em operação.

O LHC, que entrará em serviço durante 2008, atingirá gradualmente o consumo nominal anual de 390 GWh.

## 6. Sistema SCADA/DMS para a Rede de Distribuição de Energia

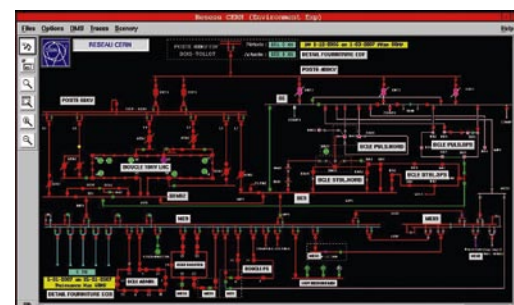
O equipamento eléctrico da Rede de Distribuição de Energia do CERN é supervisionado por um sistema SCADA/DMS, 24 sobre 24 horas, o qual disponibiliza funções de supervisão e controlo remoto ao pessoal operacional da rede eléctrica que trabalha na Sala de Comando da Infra-estrutura Técnica. Como mencionado anteriormente, um sistema SCADA/DMS é uma aplicação específica dos sistemas SCADA, para gestão de redes eléctricas de distribuição. Para além das funções típicas SCADA, oferece outras ferramentas, tais como:

- ▶ Processamento de Topologia da Rede, com o objectivo de identificar ramos energizados e não energizados da rede, coloração de rede por fonte injectora ou por níveis de tensão, etc..
- ▶ Estimação de Estado e Cálculo de Fluxo de Potência, com o objectivo de providenciar dados calculados sobre correntes, níveis de tensão, fluxos de potência, perdas, etc., baseados em dados de tempo real referentes ao estado dos órgãos de corte da rede e referentes a medidas reais dos valores de potência das cargas e dos pontos injectores.
- ▶ Análise de Curto-circuitos, com o objectivo de providenciar estudos sobre os parâmetros de dispositivos de protecção dos equipamentos de alta tensão.
- ▶ Controlo de Tensão/Potência Reactiva, para minimização da energia reactiva com impacto na redução de perdas.
- ▶ Detecção de Defeitos, com o objectivo de isolar os ramos da rede em que tenha ocorrido um defeito, bem como de permitir a recuperação de cargas, na máxima extensão possível, através de reconfigurações da rede.

O sistema SCADA/DMS da EFACEC, designado por SCATE X DMS, foi desenhado e instalado pela empresa portuguesa e entrou em serviço no CERN em 2001. Nessa altura, o âmbito de fornecimento também incluiu algumas URTs para supervisão e controlo de

subestações, baseadas no CLP 500RTU. Desde 2001, o CERN e a EFACEC têm vindo a trabalhar em conjunto na integração de novas URTs para subestações, de forma a migrar os sistemas antigos do CERN num único sistema SCADA industrial, fornecido e mantido pela empresa portuguesa.

Este sistema permite gerir quase todo o equipamento localizado na rede eléctrica do CERN, incluindo as subestações subterrâneas e de superfície, bem como outros ramos da rede existentes nos edifícios técnicos dispersos pela área do CERN. Os equipamentos supervisionados nestas instalações abrangem todos os níveis de tensão, desde os 48 V em corrente contínua, dos carregadores de baterias, até aos disjuntores e transformadores de 400 kV. Uma vez que a rede do CERN envolve diferentes gerações de tecnologia, o sistema SCADA integra uma grande heterogeneidade de *hardware* e, por isso, oferece um grande conjunto de interfaces de *software*, garantindo diferentes métodos de integração.



No total, o sistema actual permite gerir cerca de 100.000 pontos de dados. Estes pontos cobrem principalmente sinais de estado, mas também um significativo número de medidas analógicas e contadores. Canais de controlo estão disponíveis para efectuar a manobra remota de equipamentos especializados das subestações. Quando todos os equipamentos do CERN forem migrados para esta solução SCADA, é esperado que um número de cerca de 250.000 sinais seja gerido pelo SCATE X DMS.

A imagem adjacente ilustra um exemplo de diagrama esquemático do SCATE X DMS representando as subestações principais do CERN, bem como as respectivas interligações.

## 7. Arquitectura e Funções do Sistema SCADA/DMS do CERN

A arquitectura do SCATE X DMS contém os seguintes equipamentos informáticos:

- ▶ Rede LAN privada do Centro de Comando da Rede, Ethernet (TCP/IP), conectada à

# → ANÁLISE

rede técnica do CERN através de uma *firewall* redundante;

- ▶ Dois servidores UNIX, redundantes. Estes servidores executam as funções SCADA/DMS, bem como implementam as interfaces com os antigos frontais de comunicação do CERN, quase todos já migrados para o novo sistema, dos quais ainda resistem 10, já considerados no planeamento de migração para tecnologia EFACEC;



- ▶ 25 Postos de operador, no centro de comando e nas subestações principais, instalados pelo CERN. Utilizadores autorizados podem também utilizar o sistema a partir dos seus escritórios;
- ▶ *Watchdog*, sistema de supervisão interna do sistema informático;
- ▶ 1 GATEX, um *message handler* que implementa a interface de comunicação com o sistema de Supervisão da Infra-estrutura Técnica do CERN que, por sua vez, consolida e propaga dados de alarme para o Serviço de Alarmes do LHC;
- ▶ Ecrãs LCD de grande dimensão, instalados pelo CERN na Sala de Comando da Infra-estrutura Técnica;
- ▶ Sistema de Arquivo Histórico (SAH), para arquivo de longa duração, baseado num servidor LINUX, com uma base de dados ORACLE;
- ▶ Através do acesso autorizado a certos computadores, está disponível uma aplicação WEB, a qual recupera dados do SAH, consolida-os e apresenta-os em páginas WEB. A versão do SCATE X DMS instalada no CERN disponibiliza as seguintes funções de *software*:
  - ▶ SCADA, incluindo as interfaces a sistemas ou dispositivos de terceiras partes;
  - ▶ Processamento de Topologia da Rede;
  - ▶ Estimação de Estado e Cálculo de Fluxo de Potência.

## 8. Arquitectura e Funções do Sistema de Supervisão e Controlo de Subestações

O CLP 500RTU é uma URT, correspondente a uma aplicação específica do CLP 500, plataforma distribuída para supervisão e controlo da EFACEC. Ao nível das subestações, a URT desempenha funções de aquisição de dados para efeitos de supervisão, bem como executa ordens remotas de controlo, emanadas do centro de comando.

A arquitectura da versão URT desta plataforma de supervisão e controlo, actualmente instalada em 50 subestações, consta de uma Unidade Central, a qual comunica com um conjunto de Unidades distribuídas de Aquisição de Dados, através de uma rede LAN de alta velocidade, tal como a Ethernet. Cada URT comunica também com um conjunto de dispositivos electrónicos (tais como protecções numéricas), através de diversos protocolos de comunicação, por porta série.

O CERN tem 26 URTs da EFACEC instaladas nas subestações de superfície, cujo *hardware* da unidade central é baseado em PC



industrial. Pelo facto destas subestações permitirem o acesso permanente, o CERN decidiu que as mesmas dispõem de uma interface humana-máquina, o que permite que operadores autorizados possam supervisionar e controlar localmente os processos da subestação. As URTs colocadas em edifícios de superfície podem abranger várias subestações, pelo que algumas são muito grandes em termos de sinais e medidas adquiridos, que espelham as condições reais da subestação.

O CERN tem ainda 24 URTs da EFACEC para as áreas subterrâneas do LHC, cujas condições de acesso são limitadas, pelo que o respectivo *hardware* é baseado em tecnologia embecida (*embedded*), sem partes móveis (*diskless*), o que lhe confere uma ele-

vada disponibilidade e reduzida manutenção. As subestações subterrâneas estão distribuídas ao longo dos túneis do LHC, algumas bem perto das experiências.

A quantidade total de unidades de aquisição das URTs fornecidas pela EFACEC rondará as 280, nos finais de 2007.

O CERN tem que comprar equipamentos de empresas dos Estados-membros através de contratos de fornecimento. Devido a este facto, tem um conjunto heterogéneo de diferentes equipamentos para os quais é necessário dispor da respectiva interface, ao nível de cada URT, implementada através de vários protocolos de comunicação proprietários ou standard, bem como barramentos de campo.

A título de exemplo, as URTs baseadas em CLP 500RTU comunicam através de uma interface suportada pelo protocolo JBUS com cerca de 500 protecções numéricas SEPAM, da Schneider. Essas URTs comunicam também com um grande conjunto de outros equipamentos e dispositivos, tais como Reguladores de Tomadas de Transformador, Controladores Lógicos Programáveis, Fontes de Alimentação Não Interruptíveis, Carregadores de Baterias, bem como Dispositivos de Supervisão e Controlo da Rede de Média Tensão.

## 9. Conclusões

Devido à importância do LHC e das suas experiências para a comunidade científica mundial, os Serviços Eléctricos do CERN necessitam de efectuar uma permanente supervisão e controlo das suas Redes Eléctricas. Assim, os Serviços Eléctricos do CERN confiam nas soluções fornecidas pela EFACEC para atingirem tão importante objectivo. O processo de migração dos antigos sistemas do CERN para sistemas EFACEC ainda não está concluído, devido ao programa de consolidação da rede de energia do CERN, por isso, uma boa colaboração entre o CERN e a EFACEC deve continuar.

Este projecto é muito importante para a EFACEC, dada a dimensão do que representa.

1 CERN, Engenheiro, Administrador SCADA do ENS (Supervisão da Rede Eléctrica),  
Georges.Burdet@cern.ch

2 EFACEC, Engenheiro, Director de Marketing da Unidade de Automação de Sistemas de Energia,  
abernardo@efacec.pt