



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO - VII**

**GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE**

**COMPARTILHAMENTO DE SUBESTAÇÕES E PROBLEMAS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA**

**Ricardo Luiz Araújo (\*)**  
EMField

**Leonardo M Ardjomand**  
EMField

**Artur Renato Araújo**  
EMField

**RESUMO**

O compartilhamento de subestações de alta tensão é um fato irreversível no âmbito do setor elétrico brasileiro, sendo realizado por diferentes empresas ou mesmo por empresas de um mesmo grupo, com equipes técnicas distintas que possuem culturas institucionais e procedimentos operacionais diferentes.

A ausência da troca de informação entre os envolvidos e a falta de procedimentos padronizados originam problemas operacionais de difícil solução e que geram perdas financeiras e riscos para o ser humano, como a queima de equipamentos sensíveis, a operação intempestiva de relés de proteção ou mesmo a não operação de tais equipamentos quando necessário.

Neste informe técnico é apresentada uma análise feita em subestações compartilhadas por diferentes empresas onde existe uma possível perda de confiabilidade originada por deficiências nos procedimentos técnicos dos agentes envolvidos. Serão propostas técnicas de gerenciamento e contingenciamento de problemas de compatibilidade eletromagnética e procedimentos corretos de especificação e instalação de equipamentos, visando a garantia da confiabilidade e segurança operacional.

**PALAVRAS-CHAVE**

Subestações, compatibilidade eletromagnética, ensaios elétricos.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Uma subestação é um ambiente complexo, composto por equipamentos que ao mesmo tempo geram e são submetidos a eventos eletromagnéticos severos e constantes.

Para que uma mesma subestação seja compartilhada por diferentes empresas sem que haja perda de confiabilidade operacional, alguns critérios comuns de prevenção devem ser adotados por todas as equipes que compartilham a instalação.

A prevenção do ponto de vista da compatibilidade eletromagnética (EMC) deve ser encarada como uma corrente em que cada elo representa uma medida de prevenção específica. Basta que apenas um seja frágil para que a corrente perca sua resistência.

Os problemas de EMC manifestam-se a partir de um evento isolado ou a partir de uma soma de pequenos problemas, que podem resultar desde situações inofensivas como a mudança involuntária do tap de um regulador de tensão até a abertura de uma linha de transmissão ou, na pior hipótese, o bloqueio operacional de relés de proteção durante um curto circuito, o que podem levar a um incidente de grande proporções.

## 2.0 - REVISÃO SOBRE OS PROBLEMAS ELETROMAGNÉTICOS TÍPICOS DE SUBESTAÇÕES

Para que haja um entendimento sobre os fatores que levam à perda de confiabilidade operacional em uma subestação é necessário que se faça um apanhado dos eventos eletromagnéticos mais comuns neste tipo de ambiente. Os itens a seguir apresentam uma caracterização básica destes eventos.

### 2.1 CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Uma subestação possui uma grande diversidade eletromagnética, responsável por diferentes tipos de interferência, podendo-se destacar:

- Campo elétrico e magnético de baixa frequência (60 Hz) e grande intensidade;
- Campos eletromagnéticos intencionais de alta frequência como os gerados por transmissores de rádio comunicação;
- Campos eletromagnéticos não intencionais gerados por surtos de manobra, por surtos de origem atmosférica ou mesmo por equipamentos durante sua operação normal.

### 2.2 TRANSITÓRIOS ELÉTRICOS RÁPIDOS (*EFT-BURST*)

Os transitórios elétricos rápidos são caracterizados por uma ampla variação de tensão em um curto espaço de tempo, com rajadas (ou salvas) de pulsos. As principais características são: baixa energia e alta frequência.

São gerados pelo chaveamento eletromecânico de correntes elétricas indutivas e possuem um grande potencial para causar problemas de interferência eletromagnética em uma instalação. A Figura 1 ilustra um evento típico.

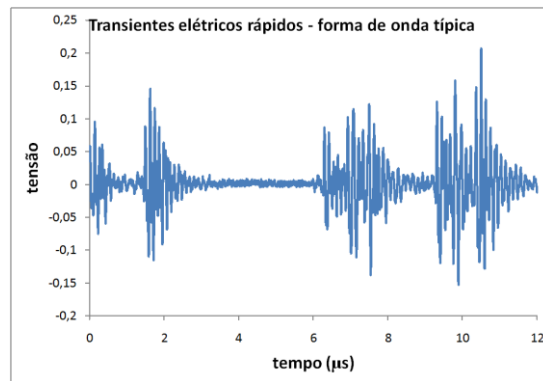


Figura 1 – Forma de onda típica de transientes elétricos

### 2.3 AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Afundamentos de tensão são diminuições no nível da tensão da rede elétrica, ou mesmo a interrupção da mesma, durante alguns milissegundos. Tais reduções da tensão de alimentação são resultantes de curto-circuitos ou do chaveamento de grandes cargas. Um equipamento utilizado em uma subestação deve ser capaz de suportar determinados níveis de redução de tensão sem apresentar qualquer tipo de desvio funcional. A Figura 2 apresenta um afundamento de tensão típico.

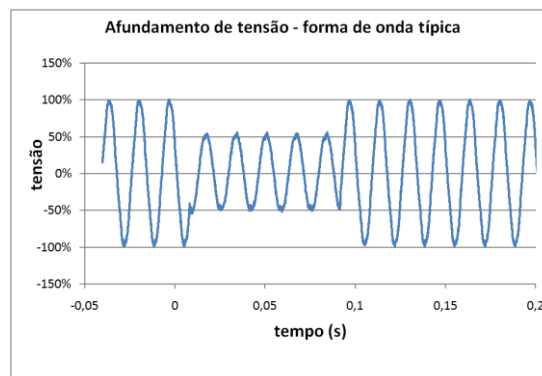


Figura 2 – Afundamento de tensão

## 2.4 SURTOS DE ORIGEM ATMOSFÉRICA

As descargas atmosféricas são uma das principais causas de surtos de tensão e corrente na rede elétrica de uma subestação. Esses surtos são distúrbios de grande energia e larga faixa de frequências.

Em testes de imunidade a surtos, que procuram avaliar a resposta de equipamentos eletrônicos a este tipo de interferência, uma forma de onda padrão é aplicada aos terminais de alimentação ou comunicação do equipamento e seus efeitos são monitorados.

A Figura 3 mostra as formas de onda de tensão e corrente típicas de surto atmosférico padronizado para a realização de ensaios. A forma de onda de tensão possui tempo de subida de aproximadamente 1,2  $\mu$ s e tempo de cauda de 50  $\mu$ s. A forma de onda de corrente possui 8  $\mu$ s de tempo de subida e 20  $\mu$ s de tempo de cauda.

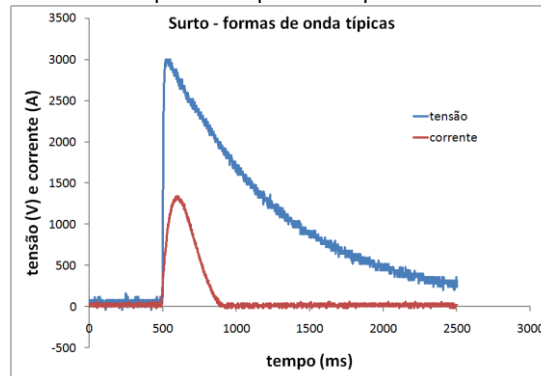


Figura 3 – Formas de onda típicas de surtos

## 2.5 ONDAS OSCILATÓRIAS AMORTECIDAS

São fenômenos causados pelo chaveamento de grandes cargas no sistema elétrico e apresentam como características tensões de até 5 kV e frequência de alguns poucos kHz. Manifestam-se tipicamente em subestações com tensão nominal superior a 138 kV.

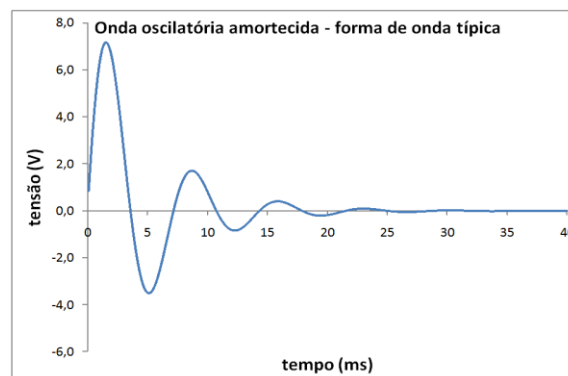


Figura 4 – Forma de onda oscilatória amortecida típica

## 3.0 - PROBLEMAS TÍPICOS DE INSTALAÇÕES COMPARTILHADAS

### 3.1 FALTA DE IMUNIDADE ELETROMAGNÉTICA

A falta de imunidade eletromagnética de equipamentos ou sistemas é um fator típico para a perda de confiabilidade de uma instalação. Tal situação resulta comumente da aquisição de equipamentos de baixa qualidade (ou baixo custo) e da falta de exigências de ensaios de compatibilidade eletromagnética por parte da concessionária quando da especificação ou compra de um novo equipamento.

A falta de imunidade eletromagnética em um equipamento é caracterizada por um número excessivo de manutenções, travamento de software ou *reset* não intencional. A Figura 5 mostra dois erros observados em um mesmo equipamento eletrônico quando submetido a ensaios de compatibilidade eletromagnética. Na primeira foto o *display* indica uma falha operacional do equipamento e na segunda o *display* indica a perda do software operacional. Situações como estas são vistas com frequência em algumas instalações do setor elétrico.

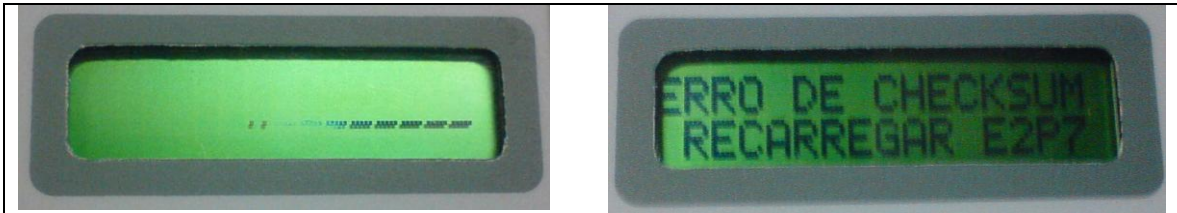


Figura 5 – Display com mau funcionamento e equipamento com indicação de erro de memória

É imprescindível que todos os equipamentos de uma subestação tenham sido testados quanto a requisitos de compatibilidade eletromagnética, pois a falha de apenas um equipamento pode acarretar na falha do sistema como um todo.

Para ilustrar tal fato, um exemplo prático é apresentado: uma subestação é supervisionada por um computador apropriado do ponto de vista de EMC. Após alguns anos de funcionamento, devido a uma descarga atmosférica direta na instalação, a fonte do equipamento, alimentada em corrente contínua é danificada. Devido ao custo deste tipo de fonte, a concessionária adota uma solução paliativa para corrigir o problema, instalando uma fonte de corrente alternada adquirida diretamente no mercado comum de computação, associada a um conversor CC-CA.

Imediatamente após a substituição da fonte danificada, a subestação passa a ter um elo frágil em seu sistema e eventos aparentemente sem conexão entre si passam a ocorrer. Sem razão aparente, alguns equipamentos passam a ser danificados, inclusive a fonte recentemente substituída. Problemas de interferência tornam-se comuns e constantemente a subestação fica com seu sistema de supervisão e operação remota inoperante.

Em uma análise de confiabilidade, a introdução indiscriminada da fonte no sistema torna o mesmo altamente susceptível a desligamentos e desabastecimentos do mercado consumidor, evidenciando o seguinte:

- a. A empresa não possui um critério adequado de aquisição e instalação de equipamentos em uma subestação. Uma fonte comum para computadores não possui a mesma imunidade eletromagnética de um equipamento especialmente desenhado para o uso no setor elétrico;
- b. A empresa não possui uma pessoa devidamente treinada para a análise crítica de problemas do ponto de vista da compatibilidade eletromagnética.

### 3.2 PROBLEMAS DE INSTALAÇÃO

Problemas de instalação respondem pelas situações mais comuns de interferência eletromagnética em uma subestação. Em geral, quando da construção, diversas medidas de prevenção são adotadas, porém, com o decorrer dos anos e os sucessivos incrementos e ampliações na instalação, algumas medidas de prevenção deixam de ser observadas, originando problemas de compatibilidade eletromagnética.

Os problemas de instalação, por vezes, apresentam uma grande complexidade para sua localização e correção, desta forma a prevenção é a melhor maneira de supressão.

Os principais problemas observados são:

- Cabos de potência misturados com cabos de sistemas sensíveis;
- Falta de supressores de surtos em locais críticos como, por exemplo, os cabos de antenas de radiocomunicação;
- Aterramentos diferentes para equipamentos que se comunicam através de condutores metálicos.

A Figura 6 apresenta dois exemplos de instalações feitas sem critérios de EMC e que resultaram em problemas de operação do sistema por falta de padronização construtiva.

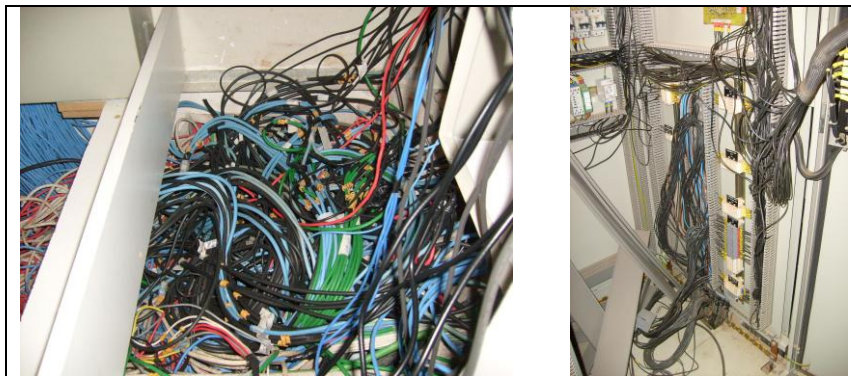


Figura 6 – Instalação sem critérios de compatibilidade eletromagnética

Um exemplo prático é apresentado na Figura 7. Neste caso um telefone foi instalado na subestação por uma das empresas que utilizam a mesma, sem nenhum tipo de cuidado. O cabo apresentado em destaque procede da rede telefônica externa e, ao entrar na subestação, não recebe qualquer tipo de mecanismo de supressão de surtos. Além disto, segue uma rota que intercala canaletas com cabos de potência e cabos de sinal, servindo de meio de acoplamento para possíveis interferências eletromagnéticas entre os cabos.

Com o decorrer do tempo, após sucessivas manutenções ou incrementos na subestação e a saída dos profissionais responsáveis pela colocação da linha telefônica, possivelmente a presença do cabo telefônico em meio a cabos de comando e automação não será mais aparente, levando a uma séria dificuldade de investigação caso sejam observados problemas de interferência eletromagnética.

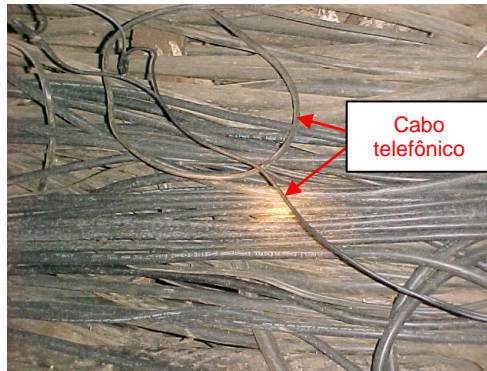


Figura 7 – Cabo telefônico instalado em meio a cabos de comando e supervisão

A principal ferramenta prática para a prevenção das situações apresentadas é a elaboração de procedimentos técnicos rígidos para a instalação de novos sistemas e equipamentos em subestações em operação, bem como o acompanhamento ou fiscalização das atividades de instalação por parte de um profissional que conheça planta e que tenha treinamento na área de EMC.

#### 4.0 - SUGESTÕES

Grande parte dos problemas de compatibilidade eletromagnética em subestações poderiam ser evitados com a implementação de medidas simples, porém, adotadas de maneira inflexível. O benefício das práticas sugeridas a seguir será melhor sentido quanto maior for o zelo na implementação e manutenção das mesmas.

##### 4.1 MESTRE DE INSTALAÇÃO

Nas subestações analisadas pela EMField uma grande parcela dos problemas de EMC é ocasionada por um profundo desconhecimento da instalação, seja devido à grande rotatividade de pessoal no local, pela falta de documentação atualizada ou pelas profundas modificações do setor elétrico, sentidas na última década. De maneira resumida, pode-se afirmar que poucas empresas possuem profissionais que conheçam totalmente suas instalações e que dominem todos os aspectos práticos do local.

Neste contexto, este artigo propõe a criação de uma de uma figura chamada pelos autores de “mestre de instalação”, nas concessionárias que possuem subestações compartilhadas com outras empresas. Esta figura (que pode ser mais de uma pessoa) tem o objetivo primordial de conhecer profundamente as instalações da concessionária, não em termos de projeto, mais sim em termos práticos, no campo.

O chamado “mestre de instalação”, técnico ou engenheiro deveria ser responsável por uma instalação ou um grupo de instalações, tendo as seguintes atribuições práticas:

- Criação de procedimentos para a instalação e atualização de equipamentos e sistemas que sigam as recomendações técnicas cabíveis de maneira a garantir a compatibilidade eletromagnética da instalação;
- Acompanhar obras e garantir que os procedimentos definidos anteriormente sejam seguidos;
- Providenciar a atualização de diagramas elétricos da instalação;
- Concentrar informações, registros e detalhes técnicos sobre a subestação.

Do ponto de vista prático este profissional deveria garantir um histórico consistente da subestação e gerir a mesma de maneira a que, qualquer modificação seja feita de acordo com os procedimentos técnicos adequados, evitando assim problemas de solução complexa e onerosa.

##### 4.2 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

A empresa proprietária da subestação deve possuir procedimentos técnicos que orientem a maneira pela qual sua infra-estrutura será utilizada pelo pessoal próprio ou por outras empresas. Tais procedimentos devem levar em consideração:

- Os requisitos de equipamentos que podem ou não serem instalados na subestação;
- O roteamento de cabos de diferentes finalidades;
- A obrigatoriedade de mecanismos de supressão de surtos;
- Características do aterramento de equipamentos, especialmente aqueles instalados na sala de controle;
- A atualização constante de plantas e projetos que sofrem modificações ao longo do tempo.

#### 4.3 ENSAIOS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

Uma das principais precauções para a limitação de possíveis problemas de compatibilidade eletromagnética em uma instalação é a exigência de que equipamentos ou sistemas instalados passem por ensaios de EMC. Neste contexto as empresas envolvidas em uma subestação compartilhada devem possuir um escopo mínimo de ensaios quando da aquisição de novos equipamentos e sistemas.

A principal maneira de barrar equipamentos inadequados do ponto de vista de EMC é a exigência de que fabricantes ou fornecedores apresentem relatórios técnicos de ensaios quando do processo de compra destes.

No Brasil os únicos equipamentos utilizados em subestações cujos ensaios de EMC são compulsórios e regulados pelo INMETRO são os medidores de energia elétrica utilizados para o faturamento e os equipamentos de telecomunicações ensaiados segundo critérios da ANATEL. Para o restante, como equipamentos de automação e controle, relés de proteção, retificadores e outros, as exigências devem ser feitas a critério do comprador.

Frente ao exposto, a seguir são feitas sugestões para a aquisição de equipamentos eletromagneticamente compatíveis, com base na experiência da equipe envolvida e na Especificação Técnica TS-61000-6-5 da IEC (1).

Durante a análise de um fornecimento, o comprador deve verificar se o equipamento proposto é exatamente aquele constante no relatório de ensaios e o fabricante deve fornecer garantias neste sentido. A EMField acompanhou diversos casos de investigação de incidentes em que um determinado equipamento apresentou problemas de EMC quando instalado por não ter passado por ensaios adequados. Durante a análise da documentação de fornecimento ficou claro que um protótipo ou cabeça de série passou por ensaios, porém não o modelo fornecido.

Diversos fabricantes possuem como premissa a realização de ensaios apenas na primeira versão de um determinado equipamento, não realizando ensaios posteriores em versões modificadas ou atualizações do produto. Pequenas alterações em um equipamento, mesmo modificações apenas de software ou na disposição de cabos no interior da caixa, podem tornar um equipamento eletromagneticamente incompatível, especialmente relés de proteção ou reguladores de tensão.

Frente ao exposto, as empresas devem fazer constar em suas especificações de compra a exigência de fornecimento de relatórios de ensaios no modelo e versão do equipamento a ser fornecido.

Na falta de uma cultura institucional para a especificação de critérios de compatibilidade eletromagnética, a Tabela 1 apresenta um escopo mínimo de ensaios que devem constar em qualquer pedido de compra. Tal escopo mínimo é baseado em (1) e na experiência prática da EMField.

Tabela 1 – Relação mínima de ensaios para equipamentos

Norma	Ensaio	Nível de severidade
IEC 61000-4-2	Imunidade a descargas eletrostáticas	Nível 3 Descarga por contato: 6 kV Descarga pelo ar: 8 kV
IEC 61000-4-3	Imunidade a campos eletromagnéticos de alta frequência	Nível 3 10 V/m (80 MHz a 1 GHz)
IEC 61000-4-4	Imunidade a transitórios elétricos rápidos ( <i>EFT-Burst</i> )	4 kV na alimentação 2 kV para portas de comunicação/sinal
IEC 61000-4-5	Imunidade a impulsos combinados	2 kV em modo comum 1 kV em modo diferencial
IEC 61000-4-11	Imunidade a falhas na tensão de alimentação	100 % de afundamento de tensão por no mínimo 10 ms para equipamentos alimentados em CA
IEC 61000-4-12	Imunidade a ondas oscilatórias amortecidas	Nível 3 2,5 kV em modo comum 1 kV em modo diferencial

Na análise da proposta de fornecimento, alguns aspectos dos relatórios de ensaios devem ser observados:

- O laboratório responsável pelos ensaios deve ser isento e conhecido;
- Sempre que possível, deve-se solicitar aos fornecedores que os ensaios sejam feitos em laboratórios nacionais;

- Na seção de resultados, deve-se observar se o equipamento fornecido passou nos ensaios sem qualquer tipo de problema.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Em diferentes situações analisadas pela equipe responsável por este informe técnico, as concessionárias envolvidas no compartilhamento de uma subestação encontram problemas de compatibilidade eletromagnética que seriam facilmente resolvidos mediante a troca de informações apropriadas e pela adoção de boas práticas em suas instalações.

Os autores esperam que este IT leve as empresas interessadas em evitar este tipo de situação a refletirem sobre o assunto, adotando medidas preventivas com base em sua própria ou nas poucas sugestões aqui apresentadas.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEC TS 61000-6-5 – Electromagnetic Compatibility, part 6-5: Generic Standards, Immunity for Power Station and Substation Environments, 2001-7.
- (2) Dias, Guilherme A D., Telló, Marcos – PUC-RS – Diagnóstico de Compatibilidade Eletromagnética em Subestações de Alta Tensão – Revista Eletricidade Moderna – Maio/2000.
- (3) Christopoulos, Christos, “Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility” – CRC Press – Nottingham, England, 1995.
- (4) KODALI, V. P. Engineering electromagnetic compatibility - Principles, measurements and technologies, New York: IEEE Press, 1996.
- (5) MORGAN, D. A Handbook for EMC Testing and Measurement, IEE Electrical Measurement Series 8, 1994.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Ricardo Luiz Araújo é diretor da EMField, empresa que realiza consultoria, cursos e ensaios nas áreas de compatibilidade, aterramento, medições de campo eletromagnético, entre outras, em todo o país. Atualmente está realizando estudos sobre a indução causada por linhas de transmissão em gasodutos, além de ter participado de uma extensa avaliação técnica em subestações de Angola. Foi gerente da área de ensaios elétricos do LACTEC, que incluía o laboratório de compatibilidade eletromagnética, metrologia, luminotécnica e alta tensão.

Leonardo Morozowski Ardjomand é engenheiro e sócio da EMField e atualmente está desenvolvendo um sistema de instrumentação operado por computador para a realização de diagnóstico de falhas em transformadores. Foi um dos pioneiros na implantação do Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética do LACTEC, do qual foi responsável técnico.

Artur Renato Araújo realiza medições de campo eletromagnético gerado por estações de telefonia celular e linhas de transmissão para a EMField. A empresa já realizou este tipo de medição em estados de todas as cinco regiões do país.