

# CONTROLE DE RUÍDO EM SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

Eduardo Bauzer Medeiros (\*)

(\*)Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG, Av. Antonio Carlos 6627, 31270-901 Belo Horizonte, MG,  
tels:+ (31)34995247/4995140 FAX: +(31)3443-3783, email: *flugzbau@dedalus.lcc.ufmg.br*

## RESUMO

Apresenta-se o problema de controle de ruído acústico em subestações. Aspectos físicos do problema são apresentados juntamente com um método de análise envolvendo mapeamento e simulação computacional. Com base neste estudo são discutidas soluções de controle de ruído. Estas soluções de engenharia são aplicáveis a novos projetos e a instalações já existentes. Após a exemplificação de uma solução passiva utilizando-se projeto que envolveu a equipe de autores, apresenta-se o estágio de desenvolvimento de nova pesquisa em andamento voltada para o uso de controle ativo de ruído em subestações.

PALAVRAS - CHAVE: subestação elétrica; controle de ruído audível, simulação.

## 1.0 INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada em grandes cidades tem originado uma aproximação crescente entre as áreas residenciais e as subestações, resultando no aparecimento de problemas ambientais, em particular o do incômodo causado pelo ruído de subestações (1). Embora a preocupação com o ruído audível emitido por equipamentos elétricos tenha surgido no início do século XX dentro de ambientes industriais, o estudo sistemático do comportamento acústico de subestações elétricas só teve início na década de 1960 (1). No Brasil estes estudos são ainda mais recentes, com os primeiros trabalhos iniciais datados da década de 1980. Na década de 1990, com o crescimento das cidades e uma maior preocupação com a lei ambiental, surgem os primeiros projetos de adequação do nível de ruído de subestações (1).

A primeira etapa na determinação de uma estratégia de controle de ruído de uma subestação já em operação é o mapeamento acústico preliminar da subestação (1). Esta medida é necessária, uma vez que as diferenças individuais podem ser consideráveis, até para equipamentos nominalmente idênticos (1).

Na etapa seguinte, deve ser estabelecido um modelo para a simulação computacional da subestação (2), de forma a se estimar a distribuição espacial do ruído, em amplitude e espectro de frequências. Esta etapa deve considerar o posicionamento de prédios próximos, localização de ruas, e outros elementos que possam influenciar o campo acústico.

As características gerais do projeto de controle de ruído podem então ser estabelecidas em função das etapas anteriores e de características peculiares à subestação como a instalação de pára-raios, estruturas de suporte das linhas, etc.

## 2.0 ORIGEM DO RUÍDO EM SUBESTAÇÕES

O ruído acústico emitido por subestações tem origem em duas contribuições principais (2):

- ◆ Vibração estrutural dos transformadores,
- ◆ Sistema de Ventilação dos transformadores.

Isto significa que embora outras fontes de ruído possam existir, tais como ruídos de chaveamento, efeito Corona e outros, o estudo das fontes de ruído em uma subestação pode ser reduzido à análise do ruído associada aos transformadores

## 2.1 O ruído em transformadores

O ruído de ventilação tem como características baixa intensidade e uma banda larga, iniciando-se próxima aos harmônicos mais altos do ruído estrutural do transformador. Em função destas características é um ruído que só representa contribuição relevante quando os equipamentos da subestação estão muito próximos dos receptores (a vizinhança).

A vibração estrutural dos transformadores resulta da excitação do núcleo pelas forças de magnetoestricção, principalmente, e, de forma menos pronunciada, pelas forças de atração/repulsão magnéticas. Através de mecanismo de acoplamento estrutural e interação fluido estrutura (via óleo do transformador) a vibração do núcleo é transmitida para as paredes do tanque e as chapas dos radiadores que funcionam como placas irradiantes. Como as forças de excitação surgem a semiciclo da frequência de linha, o primeiro harmônico acústico corresponde ao dobro da frequência de linha, ou seja, 120 Hz no Brasil. O segundo, terceiro e quarto harmônicos são também importantes, observando-se que em muitos casos (1) o maior harmônico não é necessariamente o de maior amplitude. A importância relativa de um determinado harmônico é determinada a partir da geometria da subestação e redondezas, e da configuração estrutural do transformador. A primeira condição está relacionada ao fato que a atenuação em sinais sonoros com o percurso é função da frequência. A segunda condição decorre do fato que os modos de resposta de um sistema mecânico são determinados de forma pela configuração estrutural. A figura 1 mostra uma resposta típica de um transformador de 25MVA e seu sistema de ventilação. A medição foi efetuada a uma distância de 3,0 metros da fonte (1).

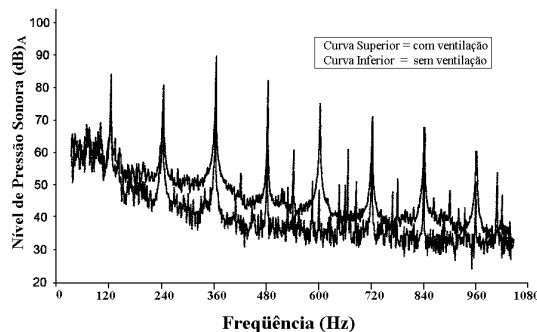


Figura 1: Resposta Acústica de um Transformador

Para a condição indicada de campo acústico próximo o ruído da ventilação é considerável na região de frequência mais alta. Os harmônicos do núcleo aparecem de forma bem clara e estando reforçados pela presença de um sistema de ventilação que apresenta projeto pouco eficiente.

## 3.0 O MODELO ACÚSTICO DE UMA SUBESTAÇÃO

O modelo acústico de uma subestação é estabelecido a partir de um posicionamento e caracterização das diversas fontes, os transformadores, os diversos obstáculos (como a casa de controle e paredes) e receptores (as construções vizinhas). Os objetos de estudo podem ser representados na forma de geometrias idealizadas mas que exibam comportamento coerente

com a realidade física. A Figura 2 representa um exemplo para de um caso típico. Nesta figura podem ser observados três transformadores, uma parede e um prédio vizinho, bem como as condições topográficas do local.

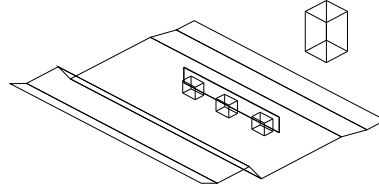


Figura 2: Visualização de uma subestação

A partir de um diagrama como este podem ser estabelecidas as hipóteses de propagação acústica, utilizando-se modelos de acordo com a precisão necessária para cada tipo de problema. Para a simulação numérica deste caso os autores utilizaram de forma bem sucedida procedimentos que envolveram aplicação direta de teoria dos raios e/ou método de elementos de contorno (2). O problema acústico de subestações apresenta características próprias apenas na descrição das fontes, os transformadores, conforme descrição no texto seguinte.

Inicialmente os transformadores podem ser descritos como irradiadores sonoros, conforme se apresenta na Figura 3, onde se ilustra um transformador típico.

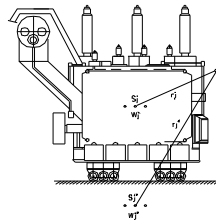


Figura 3: O Transformador como fonte acústica

A partir das superfícies principais irradiantes são determinados pontos que distam a uma certa distância do solo e a uma outra distância da superfície e que estão associados a um certo nível de pressão sonora (ou alternativamente intensidade ou potência). O problema pode ser resolvido com uma boa precisão substituindo-se o transformador por um paralelepípedo formado por chapas irradiantes de arestas iguais às dimensões externas do transformador. Esta consideração pode ainda receber duas simplificações corretas e extremamente úteis. A face inferior é essencialmente não emissora por estar próxima ao solo, possuindo ainda uma série de elementos mecânicos que reduzem a irradiação. A face superior do transformador, felizmente responde por parcela pequena de radiação acústica (1), (2), o que representa uma enorme vantagem não só em termos de modelo, mas principalmente do ponto de vista da execução de soluções práticas de controle de ruído. Isto ocorre simplesmente em função da baixa transmissibilidade mecânica do núcleo para a parte superior do tanque do transformador.

A hipótese básica de propagação para este modelo de campo aberto, pode ser representada de forma conveniente utilizando-se a equação de Helmholtz com perdas, isto é:

$$\nabla^2 \phi_f(\mathbf{r}) + k^2(\mathbf{r})\phi_f(\mathbf{r}) \approx x_{f,m}(\mathbf{r})$$

onde  $k(r)$  e  $\varphi_f(r)$  representam, respectivamente, o número de onda complexo e o termo espacial do potencial de velocidade, estando o termo à direita associado às fontes.

A avaliação computacional deve utilizar como dados de entrada os resultados do mapeamento. Os resultados obtidos e já corrigidos podem ser convenientemente representados através de iso-curvas de nível de pressão sonora, em diversos planos. A Figura 4 ilustra esta apresentação para o plano horizontal.

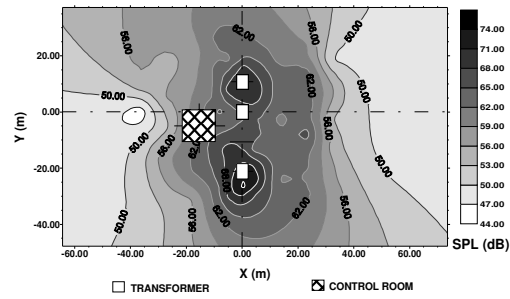


Figura 4: Níveis de pressão sonora em uma SE

A escala de cinzas indica a variação de nível de pressão sonora. O tom mais escuro indica um maior nível e o mais claro um nível mais baixo. Estes resultados permitem uma visão geral do problema de ruído existente em uma subestação. Cabe ressaltar que é fundamental a avaliação também em planos verticais na vizinhança, uma vez que os níveis registrados podem variar consideravelmente do nível zero na base do transformador ou rua mais baixa, até o nível mais alto como a cobertura de um prédio na rua mais alta. Correntes de ar formados entre prédios podem também significar um efeito mais pronunciado em certas fachadas do que em outras.

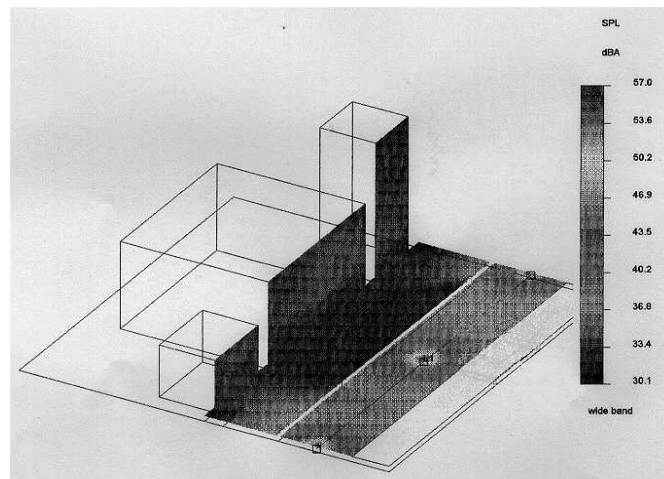


Figura 5: Níveis de pressão sonora incidindo em prédios vizinhos a uma SE

Uma representação em perspectiva, contendo também o plano horizontal pode ser vista na figura 5, onde pode se observar os efeitos do campo acústico que atingem as fachadas de prédios próximos a uma subestação. Os pontos marcados sobre o piso representam as fontes emissoras. Esta representação permite que se avalie o impacto acústico da subestação na vizinhança. Esta solução foi obtida através de dados experimentais e de uma

simulação computacional empregando-se a teoria de raios acústicos.

#### 4.0 SOLUÇÕES DE CONTROLE DE RUÍDO

Soluções de controle de ruído podem ser classificadas de acordo com a técnica utilizada, ou seja, introduzindo-se um ou mais dos seguintes elementos:

- 1) modificação de projeto na fonte de ruído;
- 2) barreiras e defletores;
- 3) filtros acústicos (cavidades ressonadoras);
- 4) absorvedores acústicos (materiais);
- 5) enclausuramentos e isoladores;
- 6) controle ativo acústico (no percurso);
- 7) controle ativo vibro-acústico (na estrutura).

Problemas de controle de ruído apresentam-se via de regra associados a outros problemas. Para o caso específico de subestações existem três fatores adicionais de grande importância que devem ser observados de forma cuidadosa, ou seja: os equipamentos geram grandes quantidades de calor, os equipamentos requerem operações regulares de manutenção/inspeção, as tensões envolvidas são elevadas, com distâncias para abertura de arco elétrico da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda acústico. Esta última é possivelmente a restrição mais séria para o caso em questão.

##### 4.1 Subestações em fase de projeto

Embora o presente estudo considere principalmente medidas corretivas para subestações já existentes, é importante que se considere também o caso de subestações novas. Alguns critérios de natureza básica podem ser estabelecidos abaixo.

O primeiro cuidado deve ser com relação à localização da subestação. Uma boa análise do plano diretor e das leis de ocupação do solo municipais pode ser de grande valia. Em princípio é vantajoso, por exemplo, localizar as subestações em locais de elevado ruído de fundo, de forma a fazer uso do efeito do mascaramento acústico, ou evitar locais de alta reflexão como encostas, etc, buscando-se ainda áreas vazias. Esta última precaução, entretanto, pode ser inadequada, visto que as cidades podem crescer, em diversos casos em direção à subestação, e portanto sua instalação em locais mais afastados garante em princípio apenas um custo inicial de terreno mais baixo.

Quanto ao posicionamento interno dos equipamentos da subestação, incluindo-se posição de linhas e pára-raios é importante que se garanta um espaço para a colocação de instalações corretivas, caso estas venham a se tornar necessárias. Para o caso em que a subestação necessite ser instalada em área já de antemão considerada como crítica do ponto de vista de ruído, existe uma alternativa bastante interessante que é a da utilização de transformadores colocados dentro de fossos dotados uma grande abertura lateral para permitir fácil acesso a equipamentos de elevação como guindastes. Evidentemente esta abertura lateral deve ser em condições normais fechada com portão acusticamente tratado, e com uma porta menor para acesso normal do operador para inspeções de rotina. Esta solução é bastante vantajosa em relação ao enclausuramento parcial preconizado como solução corretiva para algumas instalações descritas no item 4.2, uma vez que permite com maior facilidade substituições de transformadores de mesma capacidade nominal porém de geometria (fabricação) diferente. Isto é possível utilizando-se fossos de geometria variável na parte superior, de forma a se garantir sempre apenas a abertura necessária para ventilação. Felizmente a parte superior do tanque, buchas, etc, podem ficar completamente para fora, por não representarem áreas emissoras de maior importância. Em alguns países são utilizadas soluções mais radicais, tais como o fechamento completo da subestação em subterrâneos, ou

grandes galpões completamente fechados. Estas soluções apresentam custo elevadíssimo não só em virtude da obra civil necessária, mas também pelo investimento considerável em equipamentos que passam a se tornar necessários tais como sistemas especiais de ventilação e retirada de calor. Alguns países utilizam até mesmo obras civis de enclausuramento que podem ser demolidas sempre que existir a necessidade de uma intervenção maior, deixando-se apenas um acesso limitado para pequenas operações de manutenção. Embora acusticamente eficientes são alternativas que só devem ser consideradas em último caso, quando representam a única alternativa viável. Para o Brasil são alternativas que só devem ser consideradas quando todas as outras soluções não seriam adequadas.

Uma solução muito eficiente é a da utilização de transformadores com baixo nível de ruído, onde essencialmente o que se faz é reduzir-se a intensidade da magneto-estricção, projetando-se também sistemas com ventiladores de menor nível de ruído. A maior inconveniência no uso destes equipamentos é seu custo bem mais elevado, portanto é uma questão de natureza essencialmente comercial.

Outra solução muito interessante também é o uso de equipamentos dotados de sistema de controle ativo. Esta solução embora muito comum nos Estados Unidos é inexistente no Brasil. É uma solução em fase de desenvolvimento em alguns países como a Austrália e o Brasil (3), apresentando custo ainda não claramente determinado, mas de grande potencial para o interior de áreas urbanas. Esta solução está melhor apresentada no item 5.0.

#### 4.2 Subestações já existentes

O caso de subestações já existentes que possam vir a representar ou já representem uma fonte de incômodo acústico para a população representa um universo apreciável. Este fato é uma simples decorrência do crescimento das cidades associado e do surgimento de novos de novos conceitos e leis de conforto e meio ambiente.

O projeto de medidas corretivas do ruído presente em subestações já existentes inicia-se com um estudo da regulamentação municipal seguida de uma análise como a apresentada no item 3.0 deste trabalho. A partir desta primeira análise é possível avaliar-se o potencial de cada solução.

##### 4.2.1 Controle de ruído por técnicas passivas

O controle passivo deve ser utilizado para qualquer problema de acústica, desde que eficaz em termos de custo e resultados. Considerando-se as possibilidades anteriormente citadas no início do item 4.0 uma hipótese de bom potencial é a da 1) modificação do projeto na fonte de ruído. Isto significa o uso de transformadores de baixo nível de ruído existindo ainda um bom potencial para projeto corretivo nos sistemas de ventilação. A experiência dos autores é que poucos são os projetos de sistemas de ventiladores que podem ser considerados otimizados, tanto do ponto de vista acústico como do ponto de vista térmico. É claro porém que do ponto de vista acústico o benefício só virá caso os receptores estejam bem próximos da subestação. Por outro lado um melhor desempenho térmico representa uma maior vida útil para o transformador, e como as modificações na ventilação podem ser realizadas a um custo bem razoável é provável que o investimento nesta linha de atuação possa sempre trazer benefícios.

A utilização de 2) barreiras e defletores, normalmente não é muito eficiente em subestações. Os prédios vizinhos com frequência são bem mais altos que os transformadores, o que exigiria barreiras de grandes dimensões, podendo atingir alturas próximas às dimensões dos prédios vizinhos. Além do custo elevado da obra civil o resultado estético também seria insatisfatório. O uso de defletores também não representa uma boa solução pelo mesmo motivo, além de apresentar problemas mais graves com relação às cargas estruturais de vento,

e exigir um cuidado especial para não se introduzir uma focagem sonora errada, particularmente nas condições em que fosse possível uma mudança de direção de vento. É interessante acrescentar que já se buscou em diversos casos soluções corretivas através de barreiras empregando cercas vivas. Embora o efeito estético possa ser muito agradável, o que em muitos casos contribui positivamente para a visão que os consumidores tem da concessionária, melhorando a percepção subjetiva do ruído, seu efeito real é pequeno. Seria necessário uma mata razoável para se controlar o ruído de uma subestação.

O uso de 3) filtros e ressonadores acústicos só se apresenta mais eficiente quando é possível um bom controle da pressão local. Isto significa que estes dispositivos podem ser úteis em alguns casos onde já exista enclausuramento, mas como medida auxiliar.

Os 4) absorvedores acústicos são os que se conhece popularmente como “materiais acústicos”. A primeira observação importante a ser feita é que não existem na verdade “materiais acústicos”. Quase que qualquer material se bem utilizado pode apresentar uma solução interessante para um problema de acústica. Estes materiais funcionam a partir do princípio da absorção acústica, modificando também a reflexividade de uma superfície. Materiais bem escolhidos, e não necessariamente materiais conhecidos como “acústicos” devem ser utilizados em conjunto com alguma solução construtiva. Esta consideração fica melhor explicitada no parágrafo que se segue.

O uso de enclausuramentos e isoladores é a solução mais comum em subestações por diversos motivos. Enclausuramentos e absorvedores interrompem a passagem do sinal acústico e diminuem sua reflexão. A melhor solução é a do enclausuramento parcial, com materiais adequados, conforme está descrito na referências (3) e (4), que descrevem, respectivamente, uma subestação da CEMIG, e uma subestação da ELETROPAULO. A Figura 5 mostra um caso típico desenvolvido pela equipe que apresenta este trabalho, desenvolvido em 1997 e implementado de forma bem sucedida durante 1998.



Figura 6: Enclausuramento Parcial (CEMIG)

Observa-se na Figura 6 que a parte superior do tanque ficou livre, localizando-se assim o enclausuramento bem afastado das buchas e pára-raios, ambos visíveis na foto. Além disto realizou-se o projeto de forma que nenhuma qualquer parte do enclausuramento está a uma distância de pelo menos o dobro da distância para abertura de arco dos pontos de tensão mais elevada, neste caso 138kV. No projeto é importante que seja sempre considerada uma boa tolerância, uma vez que a uma queda de objetos com mau tempo e/ou invasão de animais pode resultar em redução da distância entre dois pontos. As aberturas inferiores e as estruturas com aparência de telhados e janelas tem como objetivo permitir a passagem do ar de ventilação. A estrutura das paredes foi construída com paredes combinadas, em aço e poliuretano. O estrutura suporte foi construída em perfis de aço. Observa-se então o uso de materiais convencionais, de baixo custo, desempenhando uma função acústica. Toda a

estrutura foi pintada para melhor resistir a exposição ao tempo. As paredes contêm portas que podem ser facilmente abertas para atender necessidades de manutenção e inspeção, com a frequência que for necessária. Para grandes intervenções de manutenção incluindo a troca de transformadores a estrutura que é toda modular, podendo ser toda retirada apenas soltando-se os parafusos de fixação, com ferramentas convencionais. A construção facilita também o aterramento, e o material utilizado não é inflamável. Os resultados atingidos foram excelentes, e os prédios vizinhos recebem um ruído menor que o determinado pela legislação municipal.

Para o estudo do enclausuramento foi feita uma simulação numérica utilizando-se um procedimento de elementos finitos, para se estabelecer a propagação entre as laterais do transformador e as paredes do enclausuramento. É importante observar-se que o uso de paredes sanduíche permite uma melhor eficiência de controle de ruído, e um melhor controle de espessura e peso das paredes laterais, de acordo com a necessidade.

Um outro aspecto importante está no controle de ventilação. Em função do fechamento da estrutura o mecanismo de troca de calor por convecção natural foi reduzido. Portanto após a instalação do sistema o sistema de ventilação passou a funcionar por maior período de tempo. Entretanto a distribuição de temperatura tornou-se mais uniforme nos radiadores, uma vez que o sistema instalado passou a canalizar de forma melhor distribuída a corrente de ar da convecção forçada. Antes da colocação do enclausuramento a parte inferior dos radiadores (próxima aos ventiladores) tinha uma troca de calor razoável, enquanto que a na parte superior dos trocadores de calor a temperatura era razoavelmente elevada. Esta distorção de funcionamento foi consideravelmente reduzida. Isto significa que um enclausuramento corretamente projetado pode melhorar a troca de calor do equipamento.

O enclausuramento parcial apresenta porém algumas desvantagens. A principal está no fato que para ser efetivo quando a vizinhança se encontra muito próxima as paredes do sistema de controle de ruído devem ser colocadas muito próximas. Isto significa que cada projeto é individual, por modelo de transformador. Caso venha ser necessária uma troca por modelo diferente torna-se necessário a construção de um novo conjunto. Mesmo não sendo uma operação regular é ainda um problema. Existem ainda outras dificuldades de menor importância tais como maior dificuldade de acesso para certas operações de manutenção, necessidade de manutenção da nova instalação (lubrificação de dobradiças, inspeção visual da estrutura, etc), sem contar que cada projeto requer um estudo específico e individualizado, e a montagem e fabricação devem ser acompanhadas caso a caso. Em alguns casos extremos a redução de ruído pode também não ser suficiente, em particular quando os receptores estão “colados” à subestação. Considerando-se esta limitação como pertinente, o grupo de pesquisa envolvido neste trabalho começou a desenvolver técnicas de controle ativo. Este procedimento está em andamento e será discutido a seguir.

#### 4.2.2 Controle de ruído por técnicas ativas

O procedimento para a técnica de controle ativo baseia-se no conhecimento da resposta dinâmica das chapas externas dos trocadores de calor e do tanque. Isto significa que o conhecimento global do campo acústico é uma condição prévia para a análise do problema, sendo porém insuficiente para sua completa solução. A solução de controle ativo de ruído pode envolver o 6) controle ativo acústico na propagação sonora, e/ou 7) o controle ativo vibro-acústico na estrutura. Para o caso de transformadores de grande porte em princípio devem ser utilizadas as duas técnicas.

Embora o princípio básico de controle ativo de ruído tenha sido sugerido em 1933 na Alemanha, sua implementação só se tornou viável a partir de 1980. A idéia básica é a de gerar um sinal de cancelamento secundário que se oponha ao sinal primário procedente da fonte geradora da perturbação. As dificuldades práticas para se atingir este objetivo não são triviais.

Entre estas estão a necessidade de se atingir uma distribuição espacial precisa do sinal de cancelamento, a velocidade requerida para o processamento de sinais, a solução ótima para o processamento de sinais, apenas para citar alguns exemplos. O controle acústico (na propagação) em princípio só permite o controle em regiões espaciais bem específicas. Isto significa que o controle unicamente através deste recurso não é muito adequado para uma subestação. Necessita-se então de uma atuação nas chapas irradiantes do transformador, uma vez que este controle estrutural permite resultados em todo o campo de resposta. A Figura 6 mostra esquematicamente um transformador dotado de sistema de controle ativo.

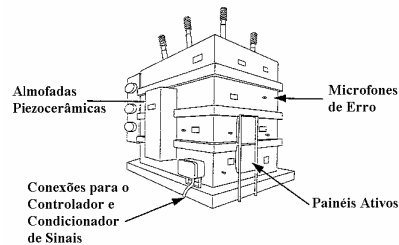


Figura 7: Transformador com controle ativo

As almofadas piezocerâmicas introduzem a perturbação de cancelamento nas paredes irradiantes laterais. Os painéis ativos estão constituídas por chapas curvas acionadas por atuadores e funcionam essencialmente como alto-falantes operando ao contrário, isto é como absorvedores de potência acústica. Os microfones de erro fazem a amostragem para fornecer o sinal de erro para os controladores digitais. O sistema é todo controlado utilizando-se técnicas de controle digital.

Para se viabilizar o projeto deste sistema, o campo acústico próximo ao transformador deve ser conhecido detalhadamente e discretizado em elementos que permitam avaliação numérica (3). Uma das melhores maneiras de se fazer realizar este procedimento é se substituir o transformador por um cubo imaginário, envolvendo o transformador, contendo em sua superfície dipolos acústicos (5). Este procedimento está no momento sendo também desenvolvido pelos autores do trabalho, estando ainda em fase inicial (3). Simultaneamente, a resposta dinâmica das chapas do transformador deve ser conhecidas. Considerando-se apenas as superfícies irradiantes, as faces inferior e superior do tanque podem ser eliminadas (3). O problema resultante para uma das condições de carregamento fluido-estrutura pode ser representado na forma da Figura 7, onde aparece o modelo de elementos finitos deste comportamento. Esta etapa do trabalho está sendo desenvolvida no momento pelos autores. Simultaneamente, outros membros da equipe estão trabalhando nos algoritmos de controle.

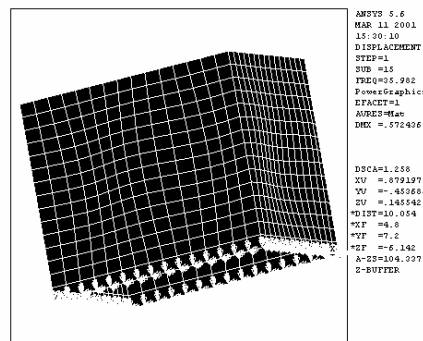


Figura 7: Modelo de Vibração de Transformador (3)

Na etapa seguinte está sendo preparado um teste em escala reduzida, que espera-se deverá funcionar ainda este ano. Este teste tem como objetivo determinar diretrizes básicas para o modelo de simulação.

## 6.0 – CONCLUSÕES

O problema do ruído acústico em subestações pode ser resolvido através de soluções ativas e passivas. O enclausuramento parcial representa a técnica passiva mais interessante. Para tanto o problema acústico deve ser analisado juntamente com o térmico, levando-se também em conta aspectos de isolamento elétrico e manutenção. A solução por controle ativo apresenta vantagens, estando em fase de desenvolvimento por uma equipe da qual fazem parte os autores. Espera-se que em um futuro próximo o controle ativo possa vir a se tornar uma realidade em subestações no Brasil.

### Agradecimentos:

O autor agradece à FAPEMIG pelo apoio recebido que muito contribuiu para a realização deste projeto. Agradecem também a Leonardo Pavanello, Gia Kroeff e Vander Ferreira Rodrigues, por sua contribuição na primeira etapa do projeto. Agradecem ainda ao apoio da CEMIG na viabilização do presente trabalho.

## 7.0 – Referências

- (1) Rodrigues V. F., Medeiros E. B., Pavanello L., Mapeamento Preliminar de Emissão Acústica em uma Subestação Elétrica Urbana, Anais do I Congresso Iberoamericano de Acústica, Florianópolis, 1998.
- (2) **Medeiros, E.B., Kroeff, G., Acoustic Modelling and Simulation of an Urban Substation, Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Congress on Acoustics, Seattle, 1998.**
- (3) Bittencourt, J.B.P., Alvim, A.C., Medeiros E.B., Proposta de Desenvolvimento de Sistema de Controle Ativo de Ruído em Transformadores de Potência, Relatório Interno, Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG, 2000.
- (4) **Farias, A.P., Dellalo, S.D., Bistafa, S.R., Grimoni, J.A.B., A Legislação Ambiental no Controle de Ruído em Subestações, Eletricidade Moderna, N<sup>o</sup> 297, 1988.**
- (5) Qiu, X., Li, X., Hansen, C. L., A Decomposition of the Sound Field Radiated by a Large Transformer, Proceedings of the Internoise Conference, 1999.

