

LEANDRO FELTRAN BARBIERI

MONITORAMENTO DE RUÍDO EM UMA SUBESTAÇÃO DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA VISANDO O  
CONFORTO DA COMUNIDADE

SÃO PAULO

2010

EPMI  
ESP/EST-2010  
B234m

LEANDRO FELTRAN BARBIERI

MONITORAMENTO DE RUÍDO EM UMA SUBESTAÇÃO DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA VISANDO O  
CONFORTO DA COMUNIDADE

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Engenheiro de Segurança do Trabalho

SÃO PAULO

2010

LEANDRO FELTRAN BARBIERI

MONITORAMENTO DE RUÍDO EM UMA SUBESTAÇÃO DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA VISANDO O  
CONFORTO DA COMUNIDADE

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Engenheiro de Segurança do Trabalho

SÃO PAULO

2010

## Dedicatória

*...Para a mais bela flor do meu jardim!*

## AGRADECIMENTOS

À Ana, meu amor, pela compreensão, incentivo e companheirismo.

À Isabel, minha pequena flor, que sempre me recebe com o sorriso mais belo do mundo.

Ao meu pai, "Vô" Geraldo Barbieri, o verdadeiro sentido da palavra determinação, que sempre priorizou a educação dos seus filhos.

À minha mãe, "Vó" Maria da Penha, pelo eterno amor.

Ao Rafa, meu irmão cientista, pela revisão do texto e valiosas contribuições para a elaboração deste trabalho.

Ao Dudu, meu irmão coração, pela sua disposição de sempre ajudar.

À Marta, que ao cuidar do bem público, indiretamente me fez pensar neste tema de trabalho.

À Bibi, pelo auxílio e disponibilidade na instalação de programas de informática.

À Luiza, a pequeninha luz, pelos sorrisos e paz que transmite a todos ao seu redor.

Ao Ricardinho, que já alegra nossa família, ainda na barriga de sua mãe.

À Bandeirante Energia S.A pelo apoio e empréstimo dos equipamentos usados para desenvolver este trabalho.

Ao Pedro Iacovino pela confiança e amizade.

Ao Thiago Alves (Caçapava) pelo auxílio nos trabalhos de campo e companheirismo no dia a dia do trabalho.

Aos Engenheiros, Técnicos e Eletricistas da Manutenção de Estações, em especial aos senhores Antonio Carlos Pacito, André Issamu, William Braz, Emerson Santos, Márcio Veloso, Antonio Carlos (Cabelo), Felipe, Isac e Nelson Soares, pelo material, informações e acompanhamento nos trabalhos de campo.

Ao Eng. Milton Moreira, pela amizade e inesgotável atenção durante a realização deste trabalho.

Ao Eng. Sebastião João Santolin que sempre abre as portas para o desenvolvimento de novos trabalhos e encara os desafios como oportunidades de melhoria.

## RESUMO

A poluição sonora é uma das principais causadoras de desconforto na população das cidades. Dentre as fontes significativas de emissão de ruído, o funcionamento dos transformadores de potência presentes nas subestações de distribuição tem lugar de destaque no número de reclamações no que tange à perturbação do sossego público. O presente estudo propôs um método alternativo de mensuração de ruído de transformadores através da medição direta do ruído emitido por tais equipamentos, comparando com o método convencional de avaliação baseado na captura das componentes sonoras presentes no entorno das instalações das subestações de distribuição de energia. O objetivo foi de averiguar possíveis divergências entre os resultados obtidos nos dois métodos. Os resultados mostraram que o ruído captado pelo método convencional (NBR 10.151:2000) sinalizam importantes interferências do meio externo, o que pode acarretar avaliações equivocadas sobre a real contribuição da poluição sonora decorrente da operação de transformadores das subestações de distribuição.

**Palavras-chave:** Poluição sonora, transformadores, subestações de distribuição de energia, métodos em engenharia.

## ABSTRACT

Noise nuisance is one of the main causes of disturbance of peace in urban areas. Among the sources of noise, the operation of transformers in power-spreaders stations has relevant share on popular complaints. This research aimed to propose an alternative methodology to measure direct voltage converters' noise and to compare with conventional methods, based on plant's influence zones. The results show differences between methods concluding the conventional one tends to be distorted by external and environmental sounds. On the other hand, the method proposed here permitted make more accurate assessment about noise produced by power-spreaders, avoiding to input equivocated responsibility on noise nuisance and so public disturbance.

Key-words: noise nuisance, transformers, power-spreaders station, engineering methodology

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do Consumo Mundial de Energia Elétrica em 200 (Mtoe).....	8
Figura 2 - Esquema vertical de uma subestação de distribuição de energia.....	9
Figura 3 - Transformador de potência 12/15 rebaixador 138 kV para 13,8 kV.....	11
Figura 4 – Mapa de localização.....	18
Figura 5 - Transformador em fase de monitoramento de ruído com o sistema de arrefecimento desligado.....	23
Figura 6 - Detalhe da corda no entorno do tanque do transformador e o equipamento de medição de ruído em operação.....	24
Figura 7 - Monitoramento de ruído do transformador com o sistema de arrefecimento e ventilação forçada acionado.....	25
Figura 8 - Medição realizada na frente da residência localizada defronte à subestação.....	26
Figura 9 – Monitoramento de ruído externo à subestação.....	27
Figura 10 - Imagem do Google Earth Pró com a localização dos pontos externos...	41
Figura 11 - Comparação dos gráficos gerados na avaliação do ruído no transformador e no meio externo à subestação nos pontos de medição 01 e 03 com o sistema de arrefecimento forçado acionado.....	43
Figura 12 - Localização dos pontos com o uso do GPS (Bandeiras azuis transportadas para o Google Earth Pró.....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Perfil de Ruído Contínuo por um período de tempo (transformador em operação), com o sistema de arrefecimento forçado desligado. ....	7
Gráfico 2 - Gráfico demonstrativo do cálculo da distância entre dois pontos (A e B), usando o Teorema de Pitágoras. ....	31
Gráfico 3 - Gráfico de perfil de ruído emitido pelo transformador, gerado a partir da medição 06, com o sistema de arrefecimento forçado desligado. ....	34
Gráfico 4 - Gráfico de perfil de ruído emitido pelo transformador, gerado a partir da medição 11, com o sistema de arrefecimento forçado desligado. ....	34
Gráfico 5 - Gráfico de espectro de banda em 1/3 de oitava gerado no momento do monitoramento, medição 01. ....	39
Gráfico 6 - Gráfico de espectro de banda em 1/3 de oitava gerado no momento do monitoramento, medição 11. ....	39
Gráfico 7 - Gráfico de espectro de banda em 1/3 de oitava gerado no momento do monitoramento, medição 26. ....	40
Gráfico 8 - Gráfico de espectro de banda em 1/3 de oitava gerado no momento do monitoramento, medição 30. ....	40
Gráfico 9 — Gráfico gerado na avaliação do ruído externamente à subestação no com o sistema de arrefecimento forçado desligado. ....	42
Gráfico 10 - Gráfico gerado na avaliação do ruído externamente à subestação no com o sistema de arrefecimento forçado desligado. ....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos .....	14
Tabela 2 - Valores de dB(A) e NC.....	16
Tabela 3 – Medidas de ruído obtidas com o monitoramento do transformador com o sistema de arrefecimento forçado desligado.....	33
Tabela 4 - Medidas de ruído obtidas com o monitoramento do transformador com o sistema de arrefecimento forçado acionado a 2 metros de distância.....	36
Tabela 5 – Resultados obtidos com a avaliação externa de ruído.....	42
Tabela 6 - Posicionamento geográfico em UTM do transformador, dos pontos externos e cálculo da em relação ao transformador.....	45
Tabela 7 – Nível de ruído calculado de acordo com a distância para os pontos externos à subestação.. .....	46
Tabela 8 – Comparação do NCA da NBR 10.151 com os resultados de nível de potencia acústica através da avaliação e dos cálculos .....	47

## LISTA DE EQUAÇÕES

- (1)  $L_p = 20 \log_{10} \frac{P_n}{P_0}$  ..... 20
- (2)  $L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}$  ..... 20
- (3)  $L_{p(A) \text{ médio}} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} 10^{0,1 L_{p(A)'}} \right] - K$  ..... 28
- (4)  $S = 1,25 h p_m$  ..... 30
- (5)  $S = (h+2)p$  ..... 29
- (6)  $L_{w(A)} = L_{p(A) \text{ médio}} + 10 \log_{10} \frac{S}{S_0}$  ..... 31
- (7)  $L_{w0} = 10 \log_{10} (10^{0,1 L_{wA1}} - 10^{0,1 L_{wA2}})$  ..... 30
- (8)  $L_{pAR} = L_{wA} - 10 \log_{10} \frac{S_h}{S_0}$  ..... 31
- (9)  $(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 = (D)^2$  ..... 32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Bel - Medida do nível de potência em relação à potência de referência

Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente, criado pela Lei Federal 6938/1981 que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente.

COS – Centro de Operações do Sistema da concessionária de energia.

dB – Decibel

GPS – Global System Position.

kV – Quilo Volt.

Mtoe – Milion Tons of Oil Equivalent.

MVA – Mega Volt Ampere

NBR – Norma Técnica Brasileira

NC – Curva de Avaliação de Ruído

NCA – Nível de Critério de Avaliação, estabelecido na Norma NBR 10151 da ANBT.

ONAN – Sistema de arrefecimento ou resfriamento natural (Oil Natural Air Natural)

ONAF – Sistema de arrefecimento ou resfriamento forçado (Oil Natural Air Forced)

UTM - Universal Transverse Mecator “medida de georreferência”

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Objetivos .....	3
1.2.	Justificativas.....	4
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1.	O Som e o Ruído na Vida Moderna .....	5
2.2.	As subestações de distribuição e o ruído.....	8
2.3.	Legislação e o Ruído Ambiental.....	13
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3.1.	Objeto de estudo .....	18
3.2.	Equipamentos utilizados .....	19
3.3.	Definições .....	20
3.4.	Condições climáticas durante a avaliação .....	21
3.5.	Calibração do equipamento para o monitoramento de ruído .....	21
3.6.	Tomada das medidas.....	22
3.7.	Cálculos e trabalhos de escritório .....	28
3.8.	Atendimento aos padrões legais .....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
4.1.	Avaliação e cálculo do nível de potência acústica do transformador .....	33
4.2.	Cálculo do nível de potência acústica do transformador .....	38
4.3.	Avaliação do ruído do lado externo da subestação.....	41
4.4.	Cálculo do nível de ruído no lado externo da subestação.....	44
5	CONCLUSÕES.....	48
6	REFERÊNCIAS .....	49
	ANEXOS.....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O ouvido humano em condições normais de saúde é capaz de captar sons com freqüências de ondas de 20 a 20.000 Hz. O ruído é um tipo específico de som sem harmonia, por isso quase sempre lhe sendo atribuída conotação negativa, geralmente quando provocador de estímulos desagradáveis, incômodos ou indesejáveis (BISTAFA, 2006). Muito embora, como afirma Masiero (2007), a efetiva diferença entre ruído e som seja muito tênu, pois dependente de sensibilidades pessoais – e de entendimentos jurídicos – o ruído tende a ser tanto menos tolerável quanto maior sua potencialidade de causar distúrbios e danos fisiológicos ou perturbação do sossego e conforto da comunidade.

Dentre esses dois níveis de consequências de ruído, que em última análise conforma a chamada “poluição sonora”, o funcionamento das subestações de distribuição de energia está mais diretamente relacionado à perturbação e incômodo à comunidade, apesar da exposição temporária de pequeno número de trabalhadores (eletricistas de manutenção).

Uma subestação de distribuição tem como principal objetivo o de rebaixar a tensão da energia recebida pelas linhas de transmissão e torná-la acessível e passível de ser distribuída para os clientes consumidores. No processo básico de transformação, há sempre uma parcela de perda – princípio da entropia – que, no caso do funcionamento dos transformadores de potência, decorre, sobretudo, da perda em forma de energia térmica (calor), pelo aquecimento dos componentes do equipamento e do óleo isolante, bem como através da energia sonora (ruído), resultante da vibração do equipamento e fenômenos eletromagnéticos. Mas enquanto a dissipação de eletricidade em energia térmica não causa aquecimento significativo no ambiente, a energia sonora, ou ruído, é facilmente difundida para o entorno das subestações podendo causar impactos adicionais no conforto público.

Tais impactos têm sido crescentemente percebidos pela população. Estrategicamente instaladas para otimizar as transformações de tensão em pontos próximos aos centros de consumo energético – e assim evitar desperdícios desnecessários e consequentemente aumento das tarifas – as subestações estão

sobretudo alocadas em áreas de grande concentração populacional, o que, agravado pelo crescimento desordenado dos núcleos urbanos, impõe sua inserção em regiões com todos os tipos de ocupação, em bairros residenciais inclusive, gerando discussões entre vizinhança e concessionárias de distribuição de energia.

Tecnicamente, a origem do ruído gerado pelo funcionamento dos transformadores de potência nessas subestações, segundo o Federal Pacific Company, citado por Masiero (2007), é causado pela necessidade de ajustamento entre os pólos magnéticos de seu corpo metálico com o campo magnético da câmara onde se insere, resultando, daí, uma pequena expansão do metal. Quando o campo magnético é anulado, o metal volta à sua posição inicial, causando, assim, vibração<sup>1</sup>. Mas como os núcleos dos transformadores são formados por várias placas metálicas sobrepostas e que não vibram uniformemente sob a influência do campo magnético, mas de maneira caótica, não ocorre, pois, a emissão de um tom puro na freqüência fundamental, mas uma composição sonora ruidosa.

A melhoria no nível de ruído pode ser obtida por diversos meios. Segundo Masiero (2007) alguns ajustes ainda na fase de projeto do transformador podem ser realizados visando ao acoplamento mais justo entre os campos magnéticos, o que, em contrapartida, pode encarecer o produto demasiadamente, justificando o abandono dessa estratégia de fabricação pela perda de competitividade no mercado. Alternativamente, e muito mais comum, é a adequação e ajustes de instalações, ou ainda a realização de obras civis para a atenuação ou contenção do ruído no interior das subestações, quase sempre necessárias para que se atenda à legislação ambiental vigente bem como as condicionantes ou exigências presentes nos processos de licenciamento ambiental do empreendimento.

Nesse contexto, a realização de um correto programa de monitoramento de emissão de ruído em subestações é cada vez mais exigido pela sociedade, seja através de órgãos de controle ambiental seja por via de organismos de financiamento ou ainda de organizações não-governamentais. A realização da tomada de medida de ruído

---

<sup>1</sup> Os transformadores vibram em uma freqüência equivalente ao dobro da freqüência da energia da qual são alimentados, pois como funcionam em corrente alternada, a cada meio ciclo de onda o núcleo do transformador sofre expansão e contração. Desta forma, os transformadores de distribuição de potência no Brasil vibram em freqüência de 120 Hz pois o sistema elétrico brasileiro opera em 60 Hz. (MASIERO, 2007)

em terrenos para a construção de novas instalações é também prática comum para a definição de projetos, principalmente por ocasião do licenciamento ambiental.

No entanto, é rara a realização do monitoramento de ruído proveniente de subestações já existentes. Pela Norma NBR 10151:2000, que versa sobre o procedimento de avaliação de ruído para o conforto da comunidade, a primeira medida a ser realizada no local de avaliação é com todos os equipamentos que se pretende avaliar desligados, para captura exclusiva dos sons produzidos externamente a ela, ou seja, do ambiente onde ela está inserida. Ocorre, porém, que ao se efetuar o desligamento dos equipamentos de uma subestação, além de se causar diversos transtornos à sociedade, como privação temporária no fornecimento de energia (JENS, 2006), a inevitável suspensão de eletricidade atingirá a própria atividade industrial do entorno, conduzindo à interrupção das operações das fábricas – e muitas vezes ativação automática de geradores privados – resultando em padrão de ruído ambiente externo artificial e distorcido, o que afeta significativamente e dificulta a medição da real contribuição das subestações no ruído do local, quando em plena operação.

Considerando, pois, a impossibilidade do desligamento das subestações, mas admitindo a importância do monitoramento de emissões de ruído por elas provocadas, o presente estudo pretendeu avaliar a contribuição de uma subestação de distribuição de energia na composição dos sons urbanos, lançando mão de um método alternativo que se acredita eficiente e acessível, descritos detalhadamente em sessão pertinente, tomando como base a Norma MB-1631 de Novembro de 1988, registrada no INMETRO com NBR 7277.

## **1.1. Objetivos**

Os objetivos da pesquisa foram:

- Apresentar um método alternativo e eficiente de captação e medição de ruído em subestações de distribuição de energia, acreditando-se passível de ser reproduzido e implementado em monitoramentos regulares.
- Estimar a contribuição de uma subestação de energia na composição dos sons urbanos.

- Reforçar junto à comunidade científica e profissionais a relevância de se proceder ao correto monitoramento de ruídos

## **1.2. Justificativas**

O correto monitoramento de ruídos dos transformadores de potência que compõem as subestações de distribuição de energia tem potencial de alertar para profilaxia desses efeitos, a começar pelo zelo da saúde dos trabalhadores que lidam diretamente com os equipamentos nas atividades de manutenção, estendendo-se para toda a comunidade que vive no entorno das instalações.

Entretanto, restrições práticas dificultam a captação da real contribuição dessas subestações na composição dos sons urbanos, e, portanto impedindo o monitoramento preciso. Justifica-se a presente pesquisa pelo seu teor experimental na tentativa de propor método reproduzível de identificação de ruídos visando o seu monitoramento, e, eventualmente, amenizar a exposição de trabalhadores e comunidade aos riscos inerentes ao desconforto acústico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O Som e o Ruído na Vida Moderna

Vários fatores interferem na qualidade de vida nas cidades (OLIVEIRA,1997), e sem dúvida o ruído é um dos mais importantes, uma vez que a cada dia se faz mais presente na vida das pessoas, pois gerado em praticamente todas as atividades humanas.

Paixão e Freitas citando Petian (2008) afirmam que atualmente há necessidade de melhoria na acústica nas cidades e que tal necessidade parte das reivindicações da sociedade, da evolução da tecnologia, da evolução e maior restrição e controle legal. Oliveira (2007) ressalta que o excesso de ruídos é um dos problemas (impactos ambientais) mais freqüentes nas cidades, gerador de um grande número de reclamações aos órgãos ambientais de controle.

Infelizmente, conforme discorre Harris (1977), grande parte das máquinas e equipamentos usados nas indústrias e no transporte, que têm como propósito trazer maior conforto, agilidade e aumentar o tempo para o lazer do homem, vêm acompanhadas da emissão de ruído, e por isso é um dos agentes mais comuns nos locais de trabalho (SANTOS et. al, 1994). O mesmo corrobora Rios (2003) que ressalta que com o acelerado crescimento industrial decorrente de forma natural do sistema capitalista, os trabalhadores estão cada vez mais expostos a vários agentes nocivos à saúde, dentre os quais se destaca a poluição sonora. Cremonesi (1984) corrobora afirmando que o ruído urbano deve ser tratado como um fenômeno estatístico uma vez que é formado por várias fontes de ruído que se misturam de uma maneira complexa.

Sabe-se, no entanto, que a ação nociva do ruído depende da sua intensidade, do tempo de exposição, da freqüência e ainda da sensibilidade de cada pessoa. Considerando que a sensibilidade pessoal é um fator que está diretamente ligado à ação nociva do ruído, fica fácil concordar com a opinião dos pesquisadores quando

os mesmos atribuem o ruído como sendo um quesito com alto grau de subjetividade. Petian (2008) reforça que o agente físico ruído é também subjetivo na medida em que algumas pessoas se sentem incomodadas com determinados tipos e intensidades de sons, enquanto outras não.

Para classificar um som como ruído, ou seja, um som indesejável (BISTAFA, 2006; HARRIS 1977; MASIERO, 2007) é necessário o julgamento pessoal, pois a efetiva diferença entre som e ruído está intimamente ligada à pessoa que o ouve. Já Rios (2003) explica que de um modo geral o ruído pode ser definido como toda a sensação auditiva insalubre e/ou como fenômeno acústico sem periodicidade e sem componentes harmônicos definidos. Assim, ainda que haja um componente subjetivo na classificação do ruído, existe um limiar em que objetivamente tal som é prejudicial à saúde, e independe do desconforto pessoal.

Se o som é a sensação produzida no sistema auditivo, fisicamente são vibrações das moléculas do ar que se propagam a partir de estruturas que vibram (BISTAFA, 2006), ou ainda, é a transferência da energia através de um meio elástico, com mudanças da densidade nesse meio (PETIAN, 2008). A onda sonora, onda mecânica longitudinal audível aos humanos – 20 Hz a 20 kHz – podem ser puras ou compostas e superpostas: é o caso do ruído, que pode ser classificado como:

- **Ruído contínuo:** Para Kawakita (2008), trata-se de um ruído uniforme que varia menos de 5 dB ao longo do tempo, enquanto que para Rios (2003) o máximo de variação se reduz para até de 3 dB. Para o presente estudo, no entanto, essa divergência entre os autores na classificação do ruído contínuo é insignificante, pois no funcionamento do transformador de distribuição de energia, a sua variação é menor do que 3dB, conforme ilustra o Gráfico 1.

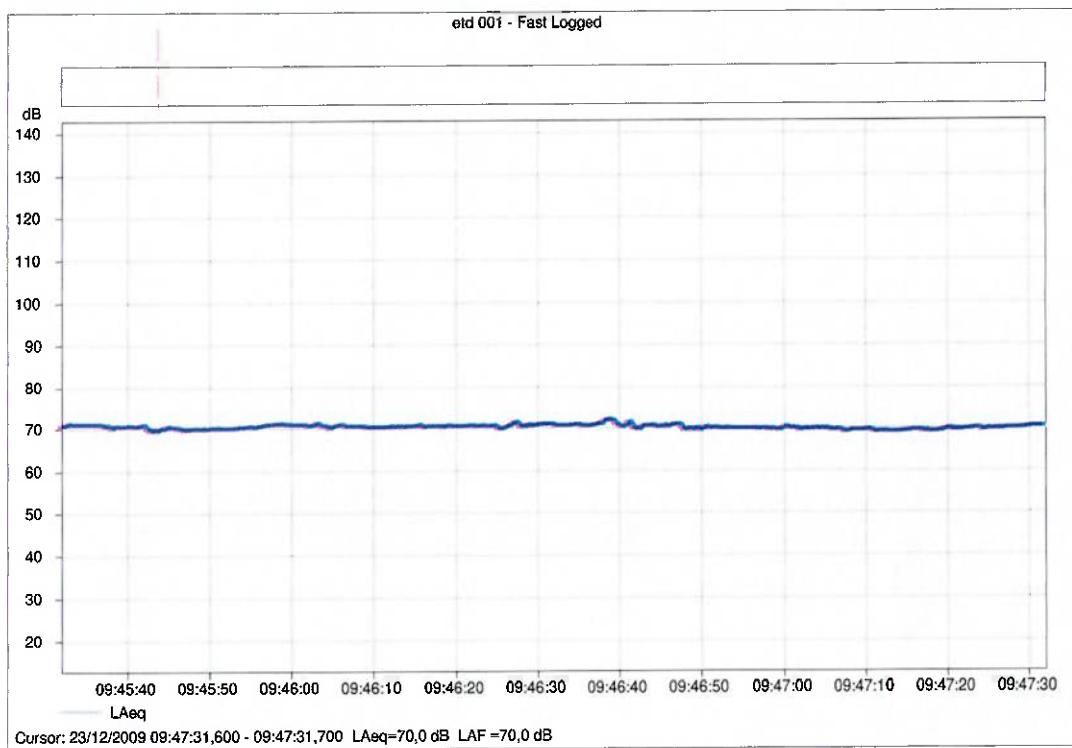


Gráfico 1 - Perfil de Ruído Contínuo por um período de tempo (transformador em operação), com o sistema de arrefecimento forçado desligado.

- **Ruído intermitente:** trata-se do ruído que persiste por mais de 1 segundo e é interrompido por mais de um segundo, como uma broca de um dentista (KAWAKITA, 2008). Rios (2003) classifica-o como sendo aquele que varia continuamente mais de 3 dB durante o período de observação.

A NR 15<sup>2</sup> em seu ANEXO nº 1 (2008), considera para fins ocupacionais ruídos contínuos e ruídos intermitentes de forma semelhante, para fins de aplicação de Limites de Tolerância.

- **Ruído impulsivo:** trata-se do ruído que sofre mudança de 40 dB ou mais em intervalos de 0.5 segundos e se mantém por menos de 1 segundo, como por exemplo, o ruído de explosões e tiros (KAWAKITA, 2008), ou seja, aqueles que apresentam picos de energia acústica com duração inferior a 1 segundo.

Para a NR 15, Anexo nº 2 (2008), o ruído de impacto é aquele que possui picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos maiores que 1 (um) segundo.

<sup>2</sup> NR 15 – Norma Regulamentadora nº15, aprovada pela Portaria 3214/76

## 2.2. As subestações de distribuição e o ruído.

A energia elétrica é fundamental para a vida moderna. Em 2007 o mundo produziu quase 1547 Mtoe de eletricidade, com o consumo de quase 1400 Mtoe, somente para atender à demanda industrial e setores diretamente relacionados ao conforto humano, como ilustra a Figura – 1, a seguir (IEA, 2009).

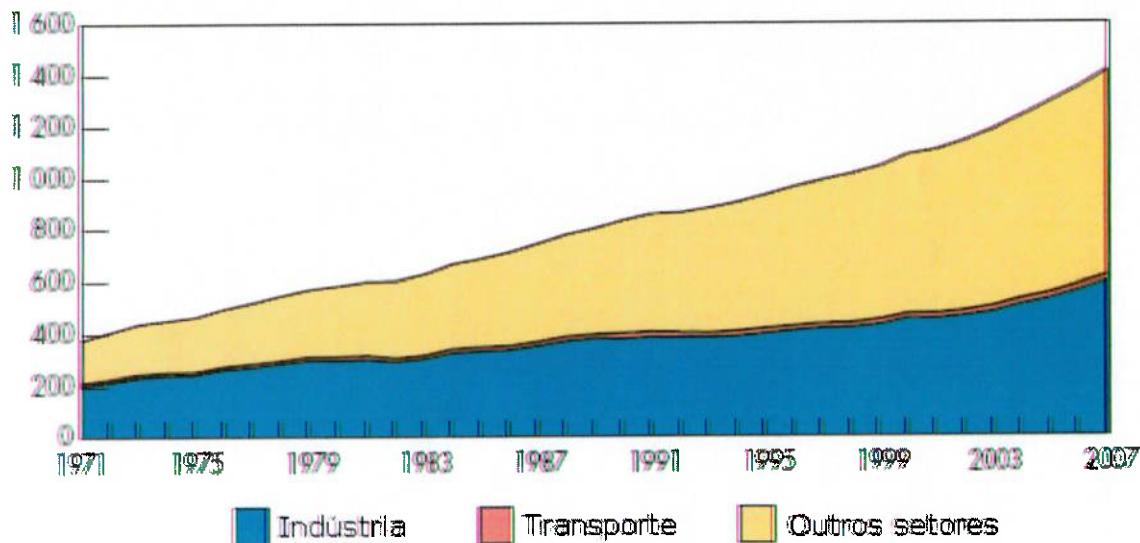


Figura 1 - Evolução do Consumo Mundial de Energia Elétrica em 200 (Mtoe).

Fonte: Adaptado de IEA (2009).

Como há várias fontes geradoras de energia elétrica, como usinas hidrelétricas, nucleares, eólicas e solares, a disponibilidade de eletricidade para o consumo passa por ajustamentos de tensão e calibragem. Considerando as fontes de hidrelétricas, que respondem por 84% de toda eletricidade gerada no Brasil (IEA, 2009), o caminho percorrido da unidade geradora até consumidor final pode ser resumidamente descrita em 3 fases: geração, transmissão e distribuição.

Em todas as etapas acima indicadas a energia sofre transformação, seja de rebaixamento seja de aumento da tensão, para que fique na forma mais econômica e tecnicamente viável para o seu fim. As subestações de distribuição, de maneira geral transformam (rebaixam) a tensão da energia elétrica de entrada visando ao fornecimento de energia elétrica com nível aceitável de disponibilidade (JENS, 2006).

Nesses ajustes de tensão são inevitáveis dissipações energéticas – pelo princípio da entropia -, ocorrendo sobretudo a perda por calor e ruído. Especificamente o ruído nas subestações é gerado a partir do funcionamento dos transformadores e dos equipamentos auxiliares dos transformadores, como bomba de óleo e sistema de arrefecimento. Os transformadores de potência são os componentes mais críticos das subestações, pois quaisquer falhas em seu funcionamento fatalmente irão resultar em interrupções do fornecimento de energia (COSTA, 1999). A ilustração a seguir demonstra uma estrutura básica de uma subestação.

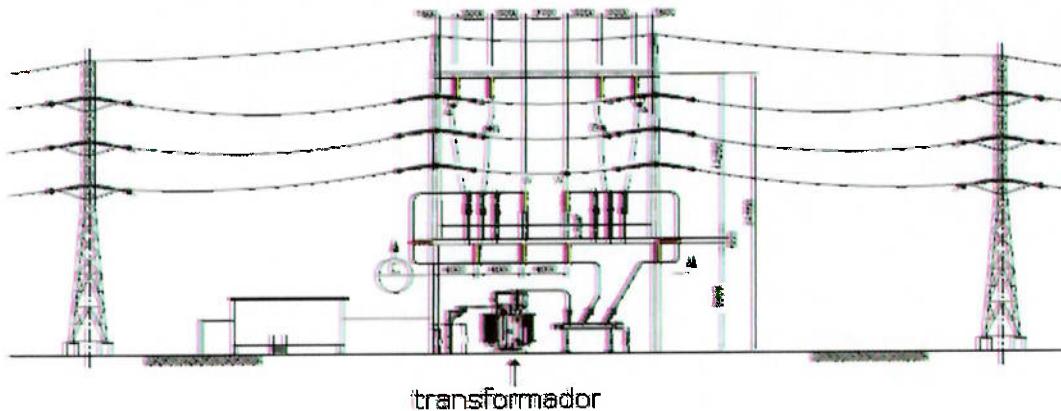


Figura 2 - Esquema vertical de uma subestação de distribuição de energia.

Fonte: Adaptado de Golçalves *et al* (2007).

Um transformador de potência, isolado á óleo mineral, via de regra é formado pelos seguintes componentes:

- **Núcleo:** em formato de colunas interligados e utilizados para concentrar o fluxo magnético;
- **Enrolamento de alta tensão:** é composto por material condutor (cobre geralmente) e disposto em forma de espiras, por onde a corrente elétrica flui;
- **Enrolamento de baixa tensão:** é também composto de material condutor e disposto em forma de espiras para caminhamento da corrente elétrica;
- **Ligações das derivações:** utilizadas pelo comutador visando alterar a relação de tensão no processo de transformação.

- **Buchas de baixa tensão:** é o ponto de conexão entre o transformador e o sistema (barramento) de baixa tensão, protegida por um material isolante, normalmente cerâmico.
- **Buchas de alta tensão:** para o caso de transformadores de potência de subestações de distribuição é o ponto de conexão, entrada de energia no transformador ligado ao sistema (barramento) de alta tensão, protegida por um material isolante, normalmente cerâmico.
- **Vigas de prensagem do núcleo:** utilizadas para afixar o núcleo.
- **Comutador:** é o equipamento acoplado ao transformador utilizado para realizar o ajuste de tensão conforme a sua carga. Normalmente tal ajuste de tensão trabalha em +/- 10% da sua tensão nominal (COSTA, 1999)
- **Sistema de acionamento do comutador:** o sistema de acionamento do comutador, que faz com o comutador acione e ajuste a tensão de transformação pode ser automático ou manual. Os transformadores mais novos são todos de acionamento automático.
- **Tanque:** é corpo do transformador propriamente dito, é onde está alojado a maior parte do fluido isolante.
- **Tanque de expansão:** utilizado para expandir a capacidade do tanque principal, normalmente é usado quando o transformador atinge altas temperaturas tem a finalidade de preservar a integridade do óleo (COSTA, 1999).
- **Dispositivos de proteção:** são mecanismos de proteção interna do transformador para proteção de avarias decorrentes de falhas nos enrolamentos por curto-circuito, formação de gases e sobre temperatura.
- **Radiadores:** trata-se de dispositivos utilizados para dissipar o calor gerado pelas perdas nos enrolamentos, no circuito magnético e também nas conexões, pois aumentam a superfície de contato do equipamento com o ar, e normalmente são equipados com ventiladores para forçar a circulação do ar. O funcionamento dos ventiladores normalmente aumenta a geração de ruído do transformador.

A fotografia abaixo apresenta em destaque o radiador e o tanque do transformador.

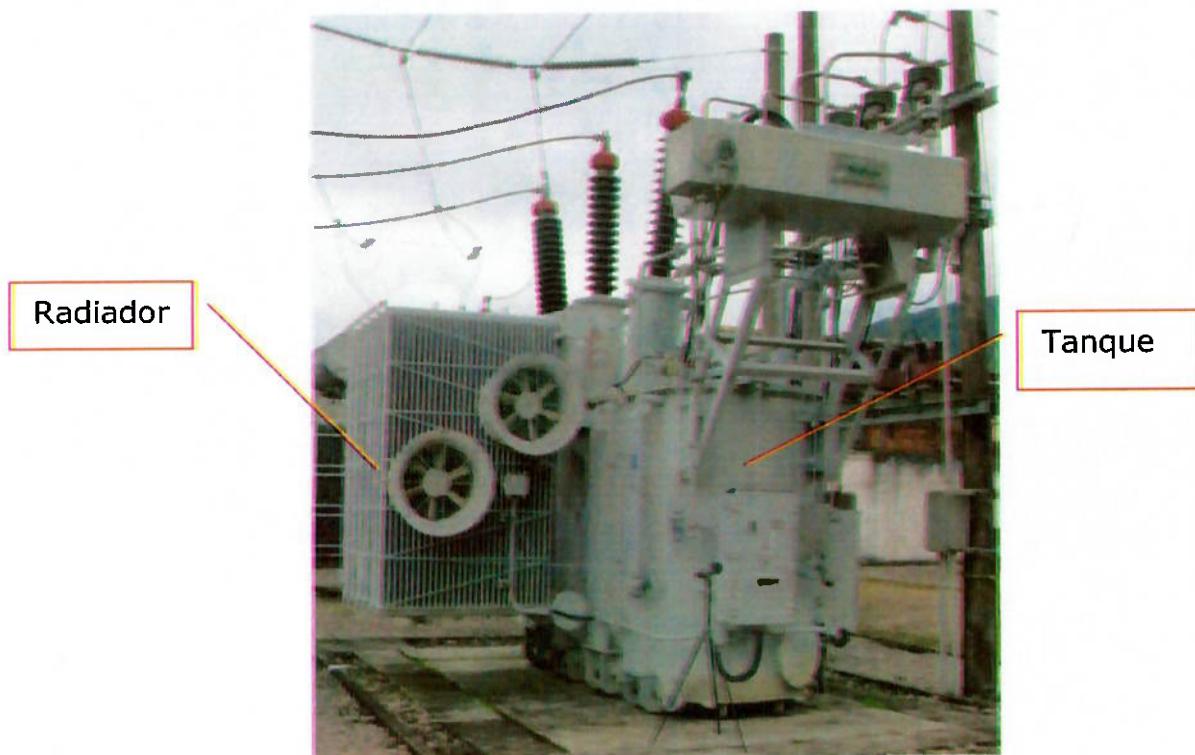


Figura 3 - Transformador de potência 12/15 rebaixador 138 kV para 13,8 kV.

A fabricação de transformadores de potência segue padrão criterioso de qualidade, acompanhado pelo *InMetro*, visando a sua melhor performance durante toda a vida útil estimada. No entanto, quando o equipamento entra em operação ele poderá enfrentar solicitações elétricas como sobrecarga, sobretensões, curto-circuito, que aliadas aos fatores externos (maresia, chuvas, altas temperaturas) muitas vezes aceleram a deterioração dos materiais, e incrementando sua depreciação para além do esperado, conforme discorre Costa (1999), ou até mesmo alterando algumas condições operativas.

O nível de ruído gerado pelo funcionamento do transformador de potência está intimamente ligado ao seu projeto, de tal forma ser possível realizar a sua atenuação como modificações ainda na fase de concepção, o que, porém, quase sempre resultam em custos marginais mais elevados, desencorajando os fabricantes (MASIERO, 2007).

Do ponto de vista operacional, o ruído gerado nos transformadores é formado pelo fenômeno chamado magnetostrição, que nada mais é do a vibração decorrente da expansão e contração das chapas metálicas que compõem o seu núcleo, por conta da circulação de um fluxo magnético. (COSTA, 1999; JENS 2006; MASIERO, 2007), e ainda pelo movimento normal dos ventiladores que se propagam na estrutura do equipamento (Karsay et al apud COSTA, 1999).

Masiero (2007) ainda reforça que por conta de fenômenos de perdas causadas pelas correntes os núcleos dos transformadores são compostos por placas metálicas sobrepostas, as quais não vibram entre si de maneira uniforme, o que acaba por gerar ruídos que não são em tom puro com freqüência fundamental. Além da vibração, o funcionamento do sistema de arrefecimento forçado dos transformadores normalmente colabora para a componente final do ruído, de maneira também caótica à vibração das placas do núcleo.

Masiero (2007) acredita que isso faça com que o ruído mensurado de um transformador apresente freqüências múltiplas pares (harmônicas pares) da rede elétrica, ou seja, de 120 a 480 Hz. Tal informação se torna importante para o mecanismo de controle de ruído na fonte chamado de controle ativo de ruído, estudado por Masiero (2007) com transformadores de subestações de distribuição.

Explica ainda, que quando uma corrente elétrica atravessa um condutor imerso em um campo magnético, uma força mecânica irá atuar sobre o condutor. Dessa maneira, as forças atuam sobre os fios de cobre condutores das bobinas do transformador que vazaram do núcleo ferromagnético quando foro excitado, com corrente alternada, gerando vibração e ruído (chamado ruído de carga), de tom puro, com freqüência igual ao dobro da freqüência de excitação. No entanto, o ruído de carga, com o tom puro, normalmente é ultrapassado pelo ruído do núcleo ferromagnético, podendo, portanto ser ignorado.

Segundo informações de Vér et al. citado por Masiero (2007) a diferença do ruído de um transformador em carga máxima ou sem carga não passa de 2 dB. No entanto, neste caso não foi considerado que um transformador operando em carga máxima normalmente está com o seu sistema de arrefecimento forçado (ventiladores) acionados, o que de certa maneira poderia alterar muito mais do que 2 dB no ruído final do transformador. Atualmente, conforme discorre Masiero (2007) e conforme

observação em campo, os métodos mais comuns utilizados nas subestações de distribuição de energia elétrica são os métodos passivos, com a inclusão de barreiras acústicas entre a fonte primária (transformadores) e os receptores.

Existem alguns casos ainda que a atenuação ocorra apenas pela distância da fonte aos pontos receptores, pois existem ainda subestações de distribuição com terrenos com áreas superiores a 1 ha.

### **2.3. Legislação e o Ruído Ambiental**

Segundo Ambiente Brasil (2010) a poluição sonora deve ser tratada pelo poder público e pela sociedade com ações judiciais para a garantia do sossego público, o qual está resguardado no artigo 225 da Constituição Federal, que se orienta pela diretriz do Direito ao Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado.

Petian (2008) reforça ainda que as legislações ambientais brasileiras em todos os âmbitos vêm enfatizando além da conservação do meio ambiente a necessidade de melhora na qualidade de vida das pessoas, e para tanto é necessária a criação de normas e regras que disciplinem a intervenção humana.

Na legislação ambiental brasileira, a poluição é definida pelo art.3º, inciso III da Lei Federal que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei 6938/1981, sendo que a poluição sonora por ser classificada como sendo a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população, ou ainda que criem condições adversas às atividades sociais ou econômicas, ou por fim lancem energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. Na mesma linha, o Decreto Estadual 8468/76 que aprova a Lei Estadual 997/76, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, em seu artigo 3º classifica que poluição ambiental é toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada nas águas, solo e ar que tornem ou possam tornar as águas, o solo e o ar impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde e inconvenientes ao bem estar público.

A Lei Federal 9605/1998, também conhecida como Lei de Crimes Ambientais, classifica como crime causar poluição de qualquer natureza em níveis que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana.

No entanto, como o ruído ou o incômodo pelo ruído tem um componente de subjetividade, fez-se necessária a padronização objetiva por tabulação, cálculos e regulamentados estabelecendo-se limites específicos de emissão de tal modo a atender a maioria estatisticamente significativa das pessoas. Por outro lado, somente a tabulação legal de valores não seria suficiente, pois como a poluição sonora é um fenômeno físico com diversas características e variáveis, era prudente que fosse também normatizada a metodologia de medição e monitoramento.

Neste contexto, em 1990 através da Resolução Conama 01, foram estabelecidos os critérios e padrões de emissão e metodologia de avaliação da emissão de ruído decorrente de qualquer atividade industrial, comercial, social e recreativa. Ordenou também que os limites e padrões a serem seguidos pelas atividades potencialmente poluidoras sonoras seriam os descritos pela Norma NBR 10.151:2000 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade da ABNT.

Com relação à poluição sonora advinda dos projetos de construção ou de reformas de edificações para diferentes atividades, a Resolução Conama 01/1990 faz menção aos níveis estabelecidos pela NBR 10.152:1987 – Níveis de Ruído para conforto acústico, da ABNT. Finalmente, a Resolução Conama 01/1990 ainda esclarece que a metodologia a ser usada para a realização das medições também deverá seguir o estabelecido pela NBR 10.151 da ABNT. Essa norma apresenta os padrões de emissão através do NCA – Nível de Critério de Avaliação, como expostos a seguir.

Tabela 1 – Nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB(A).

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais e escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10.151:2000.

Paralelamente à Resolução Conama 01/1990, foi promulgada a Resolução Conama 02/1990 que teve como principal função instituir em caráter nacional o Programa Nacional chamado de Educação e Controle da Poluição Sonora – SILÊNCIO, que tem os seguintes objetivos transcritos abaixo:

- Promover cursos técnicos para capacitação de pessoal e controlar os problemas da poluição sonora nos órgãos ambientais de meio ambiente estaduais e municipais;
- Divulgar à população, através dos meios de comunicação disponíveis, matéria educativa e conscientizadora dos efeitos prejudiciais causados pela poluição sonora;
- Introduzir o tema (poluição sonora) nos cursos secundários da rede oficial e privada de ensino, através de um Programa de Educação Nacional;
- Incentivar a fabricação e uso de máquinas, motores, equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído quando de sua utilização na indústria, veículos em geral, construção civil, utilidades domésticas, etc.
- Incentivar a capacitação de recursos humanos e apoio técnico e logístico dentro da polícia civil e militar para receber denúncias e tomar providências de combate à poluição sonora em todo o território nacional;
- Estabelecer convênios, contratos e atividades afins com órgãos e entidades que, direta e indiretamente, possa contribuir para o desenvolvimento do Programa Silêncio. (RESOLUÇÃO CONAMA 02/1990)

Ainda, a própria Resolução Conama 02/1990 instituiu as competências para a realização do controle da poluição para os órgãos estaduais e municipais.

A NBR 10.152 por sua vez estabeleceu os critérios e padrões de ruído para o interior de diferentes ambientes, enumerando o valor em dB(A) ou ainda a faixa que indica o conforto ou a aceitabilidade. Através dos padrões e das curvas (NC) de avaliação de ruído, permite a norma comparar um espectro sonoro identificando as bandas das freqüências mais significativas na composição do ruído, as quais poderão necessitar de correção, conforme se expõe na Tabela - 2 a seguir.

Tabela 2 - Valores de dB(A) e NC

Locais		dB(A)	NC
<b>Hospitais</b>			
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-40	30-40	
Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50	35-45	
Serviços	45-55	40-50	
<b>Escolas</b>			
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45	30-40	
Salas de aula, Laboratórios	40-50	35-45	
Circulação	45-55	40-50	
<b>Hotéis</b>			
Apartamentos	35-45	30-40	
Restaurantes, Salas e estar	40-50	35-45	
Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50	
<b>Residências</b>			
Dormitórios	35-45	30-40	
Salas de estar	40-50	35-45	
<b>Auditórios</b>			
Salas de concertos, Teatros	30-40	25-30	
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-40	30-35	
<b>Restaurantes</b>		40-50	35-45
<b>Escritórios</b>			
Salas de reunião	30-40	25-35	
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35-45	30-40	
Salas de computadores	45-65	40-60	
Salas de mecanografia	50-60	45-55	
<b>Igrejas e templos (cultos meditativos)</b>		40-50	35-45
<b>Locais para esporte</b>			
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-55	

Fonte: NBR 10.152:1987.

Quando comparamos os valores da Tabela – 1 com a Tabela 2, percebe-se que para locais de semelhantes classificações tem-se limites diferenciados. No entanto a Tabela – 1 indica limites do ruído presente externamente à edificação, enquanto que a Tabela – 2 refere-se a limites internos às diferentes partes das edificações, como, por exemplo, o item “Escolas” na Tabela-2 indica limites específicos para o ruído interno em Bibliotecas, Salas de desenho, Salas de aula, laboratórios e área de circulação.

A correta avaliação da poluição sonora, ao contrário de outras formas de poluição (da água, do solo), é extremamente difícil de ser realizada, pois esta não deixa resíduos, além de ser muito variável em curto período de tempo (CREMONESI, 1984). Atualmente o monitoramento de ruído em subestações de distribuição é feito apenas no lado externo das instalações, levando em consideração unicamente o ponto receptor (vizinhos e reclamantes), configurando-se som difuso, sem se tomar as emissões sonoras diretamente do transformador. Ocorre que, assim sendo, existe forte tendência de se superestimar a contribuição da subestação, uma vez que a tomada de medida somente na área externa capta invariavelmente sons produzidos pelo próprio meio.

Mesmo se realizada em horários alternativos, como no período noturno ou madrugada – quando há menor incidência de ruídos decorrentes das atividades humanas - outros agentes potencialmente interferentes comprometem as medições de maneira especialmente discrimináveis, tais como tráfego de caminhões de coleta de lixo ou cargas especiais, aviões, ou até mesmo manifestações de animais domésticos (latidos de cachorro). Em área de urbanização periférica há também o risco ou comprometimento da segurança dos avaliadores.

Diante disso, o método proposto neste estudo, ou seja, a medição direta dos equipamentos potencialmente poluidores sonoros (transformadores), implica em pelo menos quatro vantagens: (1) elimina os efeitos distorcidos do monitoramento indireto (mensuração nos pontos receptores do entorno das subestações), (2) sinaliza eventual necessidade de avaliação ambiental para fins de saúde ocupacional dos trabalhadores expostos (3) permite o diagnóstico das condições operativas dos transformadores e (4) pode ser realizado no horário comercial.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Objeto de estudo

A subestação estudada se localiza na estrada da Pedra Grande, s/n, no Bairro Massaguaçú, no Município de Caraguatatuba, Estado de São Paulo, inserida em área residencial na encosta da Serra do Mar, operando 03 (três) circuitos de distribuição que alimentam atualmente 10.174 (dez mil cento e setenta e quatro) clientes, ou 16 % do total dos clientes da empresa no município, sendo 170 (cento e setenta) clientes localizados na zona rural e 10.004 (dez mil e quatro) na zona urbana, segundo informações do COS<sup>3</sup>.

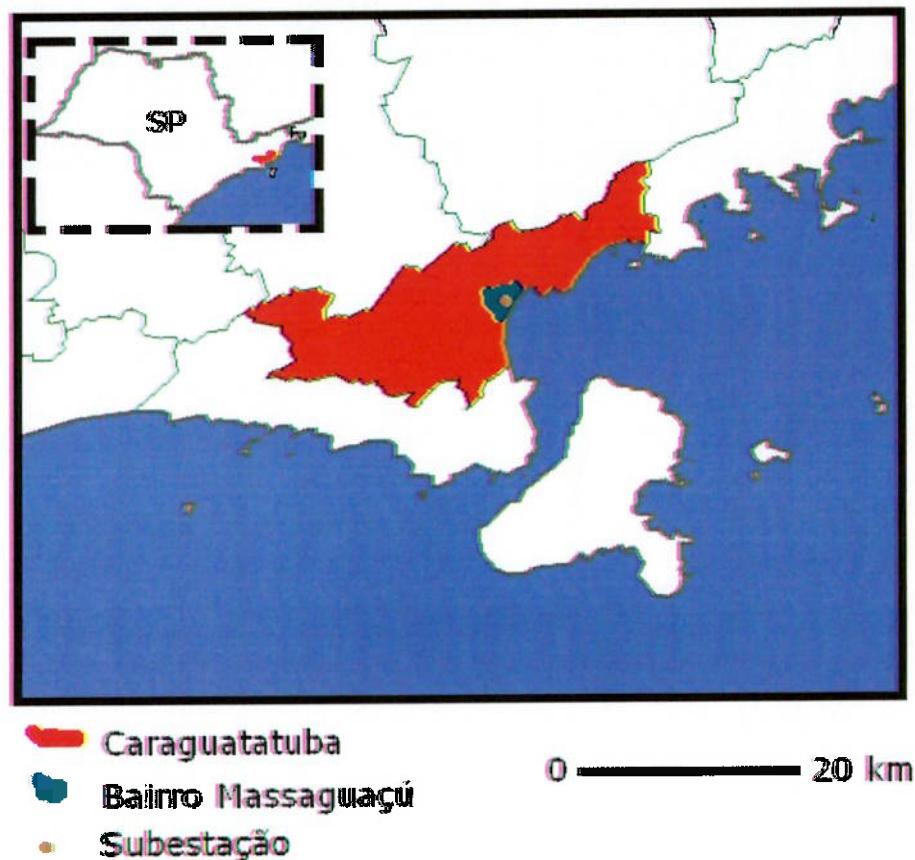


Figura 4 – Mapa de localização do Município, Bairro e Subestação.

<sup>3</sup> Informação do COS – Centro de Operação do Sistema através do Gestor Operacional José Marcelo Ruzene, em São José dos Campos, em 20 de janeiro de 2010.

A subestação é equipada com um transformador trifásico de potência com comutador em carga, da marca Toshiba do Brasil, de capacidade 12/15 MVA, estágio de resfriamento ONAN/ONAF (resfriamento natural e forçado), volume de 11.000 (onze mil) litros de óleo, massa total de 37,50 (trinta e sete e meio) toneladas construído em janeiro de 1988 e em operação nesta subestação, segundo informação verbal<sup>4</sup>, desde dezembro de 1996.

O transformador encontra-se sobre uma base de concreto com piso do entorno recoberto por camada de aproximadamente 50,0 (cinquenta) centímetros de brita de profundidade.

### **3.2. Equipamentos utilizados**

Para a realização das medições de campo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- ✓ Aparelho medidor de ruído Hand-held Analyzer, Modelo 2250, da Brüel & Kjaer, número de série 2506791 e microfone número de série 2534167.
- ✓ Aferidor de campo modelo 4231 da Brüel & Kjaer, número de série 2528431,
- ✓ Aparelho GPS – Marca Garmin – Modelo “etrex Venture” (Datum SAD'69 – UTM)
- ✓ Trena métrica com extensão máxima de 5 metros; e
- ✓ Corda sintética (para marcar o perímetro do equipamento).

Para a realização dos trabalhos de escritório, extração dos dados confecção dos gráficos do ruído monitorado foram utilizados os seguintes recursos:

- ✓ Software BZ 5503 – “Programa Multifuncional para Analisadores de ruído”
- ✓ “Software BZ 7815 – “Apresentação gráfica das medidas realizadas”; e
- ✓ *Ms Excel* para realização dos cálculos necessários.

---

<sup>4</sup> Informação fornecida pelo Sr. Milton Moreira, Gestor Operacional da Manutenção de Subestações do Litoral Norte e Vale do Paraíba, em São José dos Campos em 04 de janeiro de 2010.

### 3.3. Definições

#### 3.3.1. Nível de ruído

$$(1) \quad L_p = 20 \log_{10} \frac{P_n}{P_0}$$

Onde:

$L_p$  - Nível de ruído em decibéis

$P_n$  - Pressão acústica correspondente ao valor eficaz da componente alternada da variação da pressão atmosférica em  $\mu\text{Pa}$

$P_0$  - Pressão acústica de referência  $20 \mu\text{Pa}$

O Nível de ruído é ponderado em (A) corresponde aproximadamente à percepção do ouvido humano.

#### 3.3.2. Nível de potência acústica

$$(2) \quad L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

Onde:

$L_w$  - Nível de potência acústica em decibéis

$W$  - Potência acústica em watts

$W_0$  - Potência acústica de referência  $- 10^{12} \text{ W}$

#### 3.3.3. Superfície principal de irradiação

Trata-se da superfície imaginária que envolve o transformador ou o equipamento de arrefecimento (radiadores) a partir da qual se admite irradiado o ruído.

### **3.3.4. Linha prescrita do contorno**

Trata-se da linha contida em um plano horizontal, localizada há uma distância específica da superfície principal de irradiação, ao longo da qual são dispostos os pontos de medição

### **3.3.5. Superfície de medição**

É a superfície imaginária de área S a qual envolve o equipamento (transformador) e na qual as posições do microfone são escolhidas.

### **3.3.6. Distância de medição**

Trata-se da distância entre a superfície de irradiação e a superfície de medição.

### **3.3.7. Nível de ruído ambiente**

Visto que o equipamento em nenhum momento pode ser desligado considerando que o mesmo encontrava-se já em operação e que se desligado traria transtorno não só para sociedade como para a empresa, o nível de ruído ambiente não pode ser medido neste estudo, no entanto, trata-se do nível de ruído medido em cada posição do microfone com o equipamento desligado e inoperante.

## **3.4. Condições climáticas durante a avaliação**

As tomadas de medida foram no dia 23/12/2009, entre as 10:30 horas às 14:30 horas, visto que o ruído do equipamento é contínuo e não há variação com o tempo mesmo com o acréscimo de carga.

O clima se encontrava ensolarado e não era perceptível a incidência de ventos.

## **3.5. Calibração do equipamento para o monitoramento de ruído**

O equipamento utilizado fora calibrado em maio de 2008, pela própria Brüel & Kjaer e sua recomendação de calibração é a cada 02 (dois) anos, dependendo da

freqüência de seu uso. Antes ao início das tomadas de medida e após o seu término o equipamento foi aferido com o calibrador de campo, atendendo ao indicado na NBR 10151:2000. Os certificados de calibração do aferidor de campo e do medidor de nível sonoro se encontram nos Anexos A e B.

### **3.6. Tomada das medidas**

As medidas realizadas para determinar os níveis de ruído audível dos transformadores foram baseadas em quase sua totalidade na Norma MB-1631 de Novembro de 1988, registrada no INMETRO com NBR 7277, que pode ser utilizada tanto para a realização das medidas nas instalações do fabricante do equipamento quanto em campo.

Inicialmente, com o transformador em funcionamento, mas com o sistema de arrefecimento forçado desligado, o transformador foi circundado na horizontal com o uso da corda sintética, a uma altura média (1,20 m) a partir do piso. No comprimento de toda a corda foram demarcadas 15 posições, eqüidistantes entre si, com distância 0,97 metro, visto que o comprimento da linha era de 14,65 metros

As tomadas de medida foram realizadas em “fast” com captura de medidas a cada 1,0 (um) segundo, conforme recomenda a NBR 10151:2000, durante 2 (dois) minutos, para cada ponto medido, visto que o equipamento não apresenta variação da emissão de nível de ruído com o tempo.

Ao entorno desta linha circundada foram tomadas 15 medidas do nível de ruído, a 1,20 m de altura e a 0,30 m distância da superfície de irradiação, tomando como base as demarcações presentes na corda.

Todas as medidas, após o seu término foram armazenadas na memória do próprio equipamento de monitoramento de ruído para serem analisados em escritório e para cada de tomada de medida foi também demarcada com o uso do GPS, o seu posicionamento geográfico.

As figuras a seguir demonstram o tanque do transformador, a corda e o equipamento de monitoramento de ruído.



Figura 5 - Transformador em fase de monitoramento de ruído com o sistema de arrefecimento desligado.



Figura 6 - Detalhe da corda no entorno do tanque do transformador, indicada com a seta azul e o equipamento de medição de ruído em operação.

Após a tomada das medidas do equipamento com o sistema de arrefecimento desligado foram acionados os ventiladores do sistema de arrefecimento.

O sistema de arrefecimento do transformador possui 2,68 metros de altura, contendo 02 (dois) moto-ventiladores acoplados lateralmente ao radiador.

As medidas foram realizadas ao redor do equipamento, sempre mantendo a distância padrão de 2,0 (dois) metros da superfície de irradiação do transformador, incluindo o sistema de arrefecimento, visto que o mesmo é acoplado ao transformador a uma distância menor do que 3,0 (três) m, pois a Norma MB-1631 indica que se o transformador possuir sistema de arrefecimento com ventilação forçada a uma distância inferior a 3,0 (três) metros, as medidas do sistema de resfriamento forçada e do transformador podem ser realizadas em conjunto.

Considerando a altura do sistema de arrefecimento, as medidas também puderam ser realizadas a meia altura da superfície de irradiação do transformador, ou seja, a

uma altura de 1,20 m do solo, não sendo necessária a realização da segunda linha prescrita de contorno, conforme determina a Norma MB-1631.

Todas as medidas realizadas foram armazenadas no equipamento para posterior análise em escritório e para cada tomada de medida foi demarcado o seu posicionamento geográfico com o uso do GPS.

Abaixo a fotografia que demonstra a tomada de medida a 2,0 (dois) metros de distância do transformador.

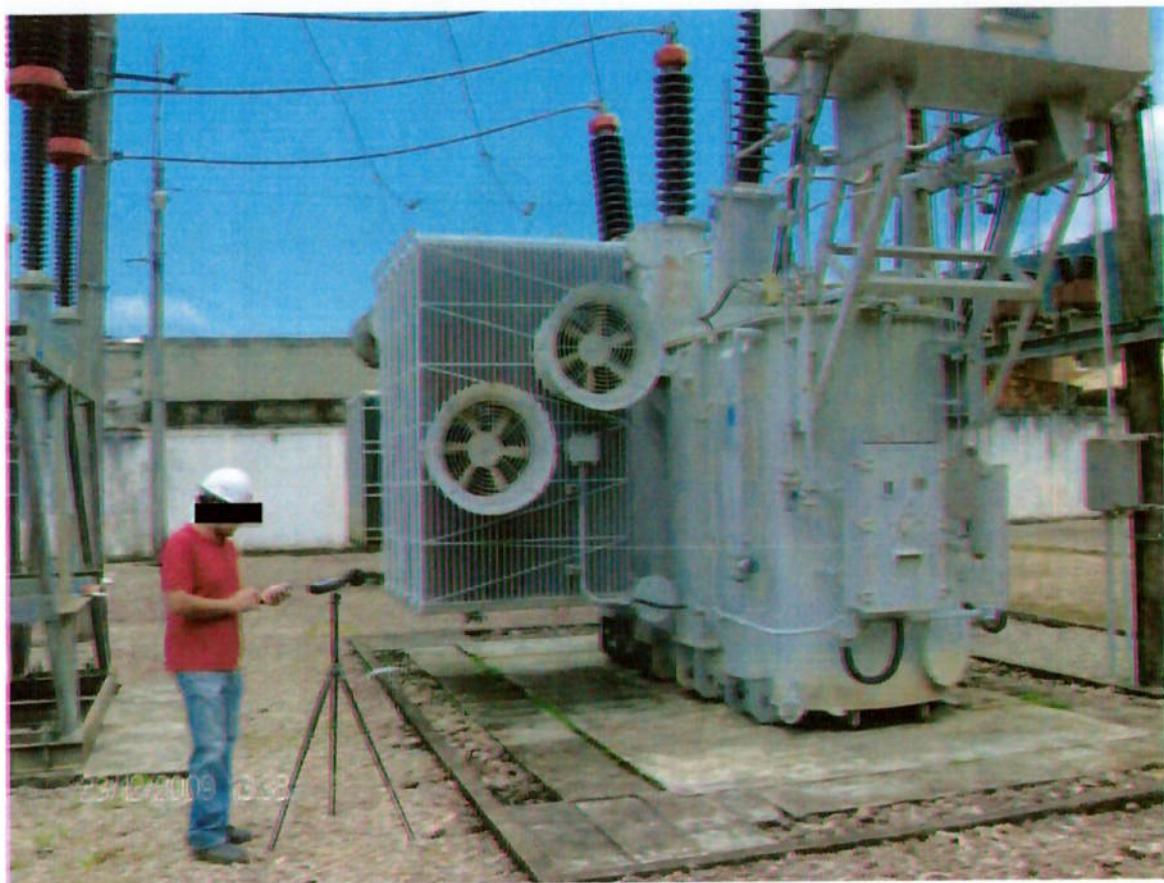


Figura 7 - Monitoramento de ruído do transformador com o sistema de arrefecimento e ventilação forçada acionado.

Após a medição do equipamento, com o sistema de resfriamento forçado ligado e desligado, foram tomadas medidas do lado externo da subestação, especificamente defronte as residências que estavam mais próximas à subestação, consideradas como os pontos receptores de ruído.

O monitoramento do lado externo da subestação visa demonstrar também a presença de ruídos de diferentes fontes que compõe o ruído final do local, uma vez

que não é possível extrair o ruído ambiente. Foram realizadas medidas com o sistema de resfriamento forçado acionado e desligado, visando identificar ainda variação no ruído externo com o acionamento da ventilação. Os pontos monitorados do lado externo foram também marcados com o uso do GPS,

Ao todo, do lado externo à subestação as medidas foram realizadas em 03 (três) pontos diferentes.



Figura 8 - Medição realizada na frente da residência localizada defronte à subestação, detalhe do medidor de ruído circundado em vermelho.



Figura 9 — Monitoramento de ruído externo à subestação defronte a residência (corpo receptor) vizinha à subestação, detalhe para a subestação ao fundo da foto.

### 3.7. Cálculos e trabalhos de escritório

Após a tomada de todas as medidas, os dados armazenados no equipamento foram transferidos para o Software BZ 5503 – “Programa Multifuncional para Analisadores de ruído” e para o Software BZ 7815, que permite a visualização gráfica das medidas realizadas, e com os dados em mãos foram feitos cálculos para saber o ruído emitido pelo transformador, bem como a sua estimativa de atenuação pela distância, utilizando as fórmulas indicadas pela MB-1631.

#### 3.7.1. Cálculo do nível médio de ruído corrigido

$$(3) \quad L_{p(A) \text{ médio}} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} 10^{0,1} L_{p(A)i} \right] - K$$

Onde:

$L_{p(A) \text{ médio}}$  – nível médio de ruído corrigido ponderado na escala A, em decibéis – referência 20 $\mu$ Pa;

$L_{p(A)i}$  – nível de ruído, ponderado na escala A, da medida da ordem i, em decibéis - referência 20 $\mu$ Pa, corrigido para o valor do ruído ambiente (no caso considerado sem influência) ;

N – número total de posições de medição;

K – correção ambiental para levar em conta a influência do ruído refletivo, pra medições realizadas em campo, o K é considerado 0 (zero) dB, quando o plano defletor (piso) é de concreto, areia ou brita.

### 3.7.2. Cálculo da área da superfície de medição

#### 3.7.2.1. Sistema de resfriamento desligado

O cálculo da superfície de irradiação do transformador com o sistema de arrefecimento forçado desligado é feito através da seguinte equação:

$$(4) \quad S = 1,25 \cdot h \cdot p_m$$

Onde:

$S$  – superfície de irradiação em metros quadrados

1,25 – fator empírico para levar em conta a energia sonora irradiada pela parte superior do transformador ou do equipamento de resfriamento;

$h$  – altura em metros, do tanque do transformador; e

$p_m$  – comprimento da linha prescrita em metros.

#### 3.7.2.2. Sistema de resfriamento ligado

O cálculo da superfície de irradiação do transformador energizado e com o sistema de arrefecimento forçado acionado, quando a distância entre o sistema de arrefecimento e o transformador é menor que 3,0 (três) metros, é realizado através da seguinte equação:

$$(5) \quad S = (h+2) \cdot p_m$$

Onde:

$S$  – superfície de irradiação em metros quadrados

$h$  – altura em metros, do tanque do transformador; e

$p_m$  – comprimento da linha prescrita em metros.

### 3.7.3. Cálculo do nível de potência acústica

Para deduzir o nível de potencia acústica ponderado na escala A, a partir do nível de ruído sob medição, a Norma MB-1631, recomenda a seguinte expressão:

$$(6) \quad L_{w(A)} = L_{p(A) \text{ médio}} + 10 \log_{10} \frac{S}{S_0}$$

Onde:

$L_{w(A)}$  - nível de potencia acústica, em dB(A), com referência  $10^{-12} \text{ W}$

$L_{p(A) \text{ médio}}$  - nível médio, em dB(A), dos níveis de pressão acústica medidos;

$S$  - Área da superfície de medição

$S_0$  -  $1 \text{ m}^2$

A MB-1631 reforça que para transformadores que possuem o equipamento de resfriamento montado diretamente sobre o tanque, o nível de potencia acústica  $L_{w0}$  é dado pela seguinte equação:

$$(7) \quad L_{w0} = 10 \log_{10} (10^{0,1 L_{WA1}} - 10^{0,1 L_{WA2}})$$

Onde:

$L_{WA1}$  - nível de potencia acústica do transformador mais equipamento de resfriamento em decibéis.

$L_{WA2}$  - nível de potencia acústica do transformador em decibéis.

### 3.7.4. Cálculo do nível de ruído à distância

Para se ter um cálculo aproximado do nível de ruído  $L_{pAR}$ , em decibéis, a uma distância de "R" metros ( $R > 30 \text{ m}$ ) do centro do transformador, a norma MB-1631 recomenda a seguinte equação:

$$(8) \quad L_{pAR} = L_{wA} - 10 \log_{10} \frac{S_h}{S_0}$$

Onde:

$L_{wA}$  – nível de potência acústica em dB (A)

$S_h$  -  $2R^2$  - Área da superfície de uma semi esfera de raio R, em metros quadrados.

### 3.7.5. Cálculo da distância

Com o uso do GPS, o posicionamento dos pontos usados para o monitoramento do ruído foram todos demarcados, e para tanto foi induzido o posicionamento do centro geográfico do transformador.

Os pontos monitorados do lado externo à subestação foram também posicionados e demarcados com o uso do GPS, desta forma, com o uso do Teorema de Pitágoras, e com o posicionamento do GPS em unidades métricas (UTM) é possível calcular a distância entre os dois pontos, conforme demonstra o gráfico a seguir.

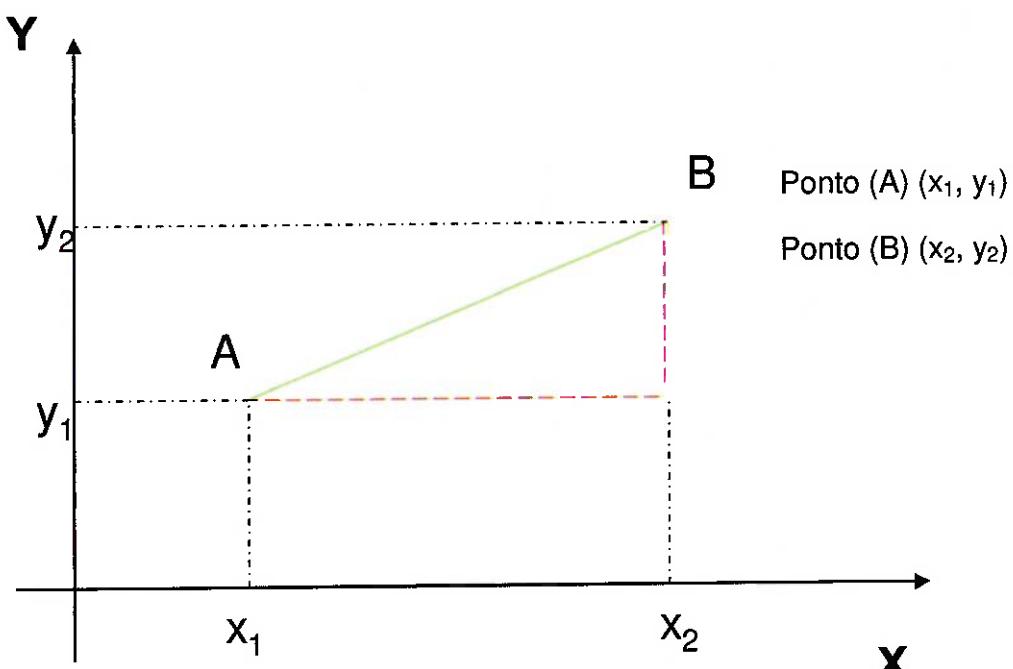


Gráfico 2 - Gráfico demonstrativo do cálculo da distância entre dois pontos (A e B), usando o Teorema de Pitágoras.

Distancia entre o ponto A e o ponto B, temos a seguinte equação

$$(9) \quad (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 = (D)^2$$

Onde:

- (X<sub>2</sub>-X<sub>1</sub>) - cateto oposto, para o ponto B
- (Y<sub>2</sub>-Y<sub>1</sub>) - cateto adjacente, para o ponto B
- D - hipotenusa (Distância)

### 3.8. Atendimento aos padrões legais

Após a realização de todos os cálculos e tratamento dos dados obtidos em campo, os resultados são comparados com os padrões legais estabelecidos, especificamente com os limites estabelecidos pela NBR 10.151. O local é classificado pelo seu uso e ocupação como sendo uma área estritamente residencial urbana ou de hospitais e ou escolas, com limites de 50 dB(A) para o período diurno e 45 dB(A) para o período noturno, uma vez que na circunvizinhança da instalação há somente a ocupação por residências.

Para o local estudado, não foi encontrada legislação que especifique o período noturno e o período diurno, sendo assim considerado o disposto na NBR 10.151, que define como noturno o período entre as 22:00 h à 07:00 h do dia seguinte, exceto ao domingos e feriados que se estende até as 09:00 h.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Avaliação e cálculo do nível de potência acústica do equipamento (transformador)

#### 4.1.1. Cálculo do nível de potência acústica com o sistema de arrefecimento forçado desligado.

Primeiramente apresentam-se as medidas feitas com o sistema de arrefecimento forçado desligado, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Medidas de ruído obtidas com o monitoramento do transformador com o sistema de arrefecimento forçado desligado.

<i>Número da medida</i>	<i>Medida em dB(A)</i>
01	70
02	70,8
03	69,7
04	72,6
05	69,1
06	77,5
07	74,7
08	71,7
09	74,7
10	75
11	68,9
12	71,8
13	70
14	71,9
15	72,2

O comportamento do ruído emitido pelo transformador, apesar de apresentar diferenças chegando a 8 dB(A) entre o ponto máximo (ponto 06) e o mínimo (ponto 11) nos diversos monitorados, pode ser considerado como contínuo, conforme ilustram os gráficos gerados nas medições.

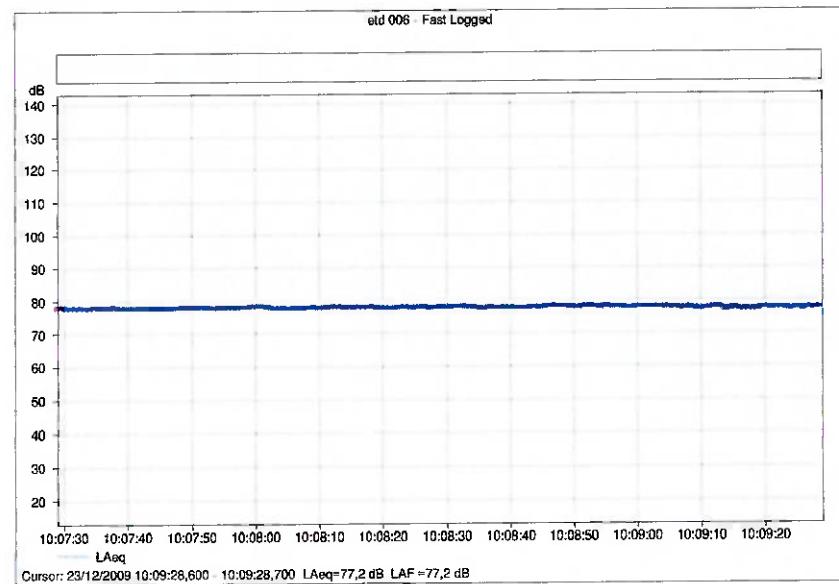


Gráfico 3 - Gráfico de perfil de ruído emitido pelo transformador, gerado a partir da medição 06, com o sistema de arrefecimento forçado desligado.

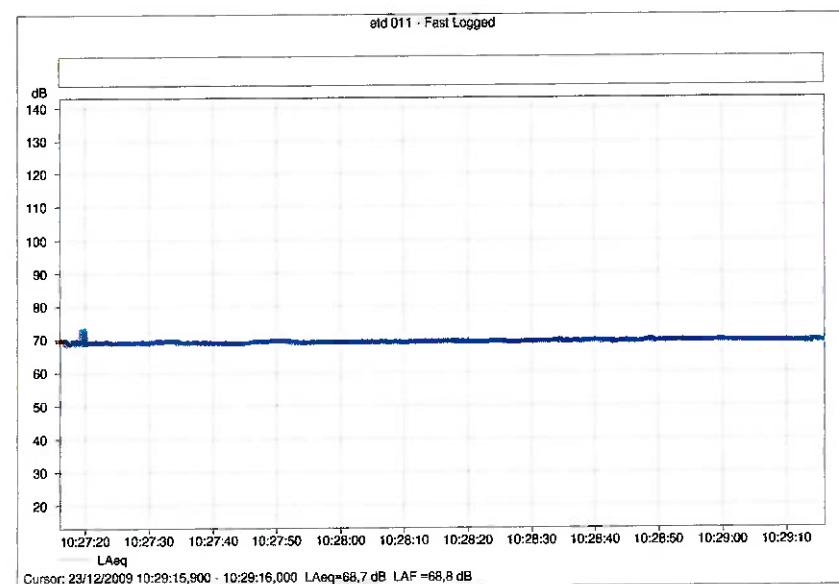


Gráfico 4 - Gráfico de perfil de ruído emitido pelo transformador, gerado a partir da medição 11, com o sistema de arrefecimento forçado desligado.

Aplicando-se a equação (3), considerando as 15 (quinze) medidas de ordem  $i$ , temos o cálculo do nível médio de ruído -  $L_{p(A)}$  médio

$$(3) \quad L_{p(A) \text{ médio}} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} 10^{0,1L_{p(A)i}} \right] - K$$

$$N = 15$$

$$L_{p(A)i} = 70; 70,8; \dots; 71,9 \text{ (conforme Tabela 3)}$$

$$K = 0 \text{ (zero)}$$

$$L_{p(A) \text{ médio}} = 72,99 \text{ dB(A)}$$

#### 4.1.2. Cálculo da área da superfície de medição com o sistema de arrefecimento forçado desligado

Aplicando-se a equação (4), temos a área de superfície de medição

$$(410) \quad S = 1,25 h p_m$$

Onde:

$h$  - 2,63 metros (altura do tanque do transformador - medido em campo)

$p_m$  - 16,11 metros

$$S = 52,96 \text{ m}^2$$

#### 4.1.3. Cálculo do nível de potência acústica com o sistema de arrefecimento forçado desligado

Finalmente, usando a equação (6), temos o nível de potência acústica.

$$(6) \quad L_{w(A)} = L_{p(A) \text{ médio}} + 10 \log_{10} \frac{S}{S_0}$$

Onde:

$$L_{p(A) \text{ médio}} = 72,99 \text{ dB(A)}$$

$$S = 52,96 \text{ m}^2$$

$$S_0 = 1 \text{ m}^2$$

$$L_{w(A)} = 90,24 \text{ dB(A)}$$

#### 4.1.4. Cálculo do nível de potência acústica com o sistema de arrefecimento forçado acionado.

Primeiro passo, as (15) quinze tomadas de medida de ruído do transformador com o sistema de arrefecimento acionado.

Tabela 4 - Medidas de ruído obtidas com o monitoramento do transformador com o sistema de arrefecimento forçado acionado a 2 metros de distância.

<b>Número da medida</b>	<b>Medida em dB(A)</b>
16	68,4
17	69,7
18	65,7
19	68,8
20	69,6
21	73,4
22	69,2
23	66
24	69,5
25	68,4
26	67,9
27	69,5
28	68,5
29	68,1
30	68,4

Aplicando-se a equação (3), considerando as 15 (quinze) medidas de ordem  $i$ , tem-se nível médio de ruído -  $L_{p(A)}$  médio

$$(11) \quad L_{p(A) \text{ médio}} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} 10^{0,1} L_{p_i(A)} \right] - K$$

Onde:

$N = 15$

$L_{p_i(A)} = 68,4; 69,7; 65,7, \dots, 68,1$  (conforme Tabela 4)

$K = 0$  (zero)

$$L_{p(A) \text{ médio}} = 69,25 \text{ dB(A)}$$

#### 4.1.5. Cálculo da área da superfície de medição com o sistema de arrefecimento forçado acionado

Aplicando-se a equação (5), acha-se a área da superfície de medição:

$$(5) \quad S = (h+2)p_m$$

Onde:

$h = 2,68$  metros (altura do sistema de arrefecimento— medido em campo)

$p_m = 27,92$  metros

$$S = 130,67 \text{ m}^2$$

#### 4.1.6. Cálculo do nível de potência acústica com o sistema de arrefecimento acionado.

Finalmente, com o uso da equação (6), tem-se o nível de potência acústica:

$$(6) \quad L_{w(A)} = L_{p(A) \text{ médio}} + 10 \log_{10} \frac{S}{S_0}$$

Onde:

$$L_{p(A) \text{ médio}} = 69,25 \text{ dB(A)}$$

$$S = 130,67 \text{ m}^2$$

$$S_0 = 1 \text{ m}^2$$

$$L_{w(A)} = 90,41 \text{ dB(A)}$$

#### 4.2. Cálculo do nível de potência acústica do transformador

Aplicando-se a equação (7), tem-se o resultado final do nível de potência acústica em decibéis do transformador.

$$(7) \quad L_{w0} = 10 \log_{10} (10^{0,1 L_{wA1}} - 10^{0,1 L_{wA2}})$$

Onde;

$$L_{wA1} = L_{w(A)} = 90,41 \text{ dB(A)}$$

$$L_{wA2} = L_{w(A)} = 90,24 \text{ dB(A)}$$

$$L_{w0} = 76,35 \text{ dB(A)}$$

Desta forma, pode-se assumir que o transformador com o sistema de arrefecimento forçado acionado emite em toda a sua superfície de irradiação ruído de aproximadamente **77 dB(A)**.

As medidas realizadas do transformador com o sistema de arrefecimento forçado desligado, ainda demonstraram uma clara influência da banda de 120 Hz, 240 Hz, até 480 Hz na composição do ruído, demonstrando o que Masiero (2007) afirmou, conforme ilustrado nos gráficos de espectro sonoro com divisões de bandas de 1/3 de oitava gerados no momento do monitoramento.

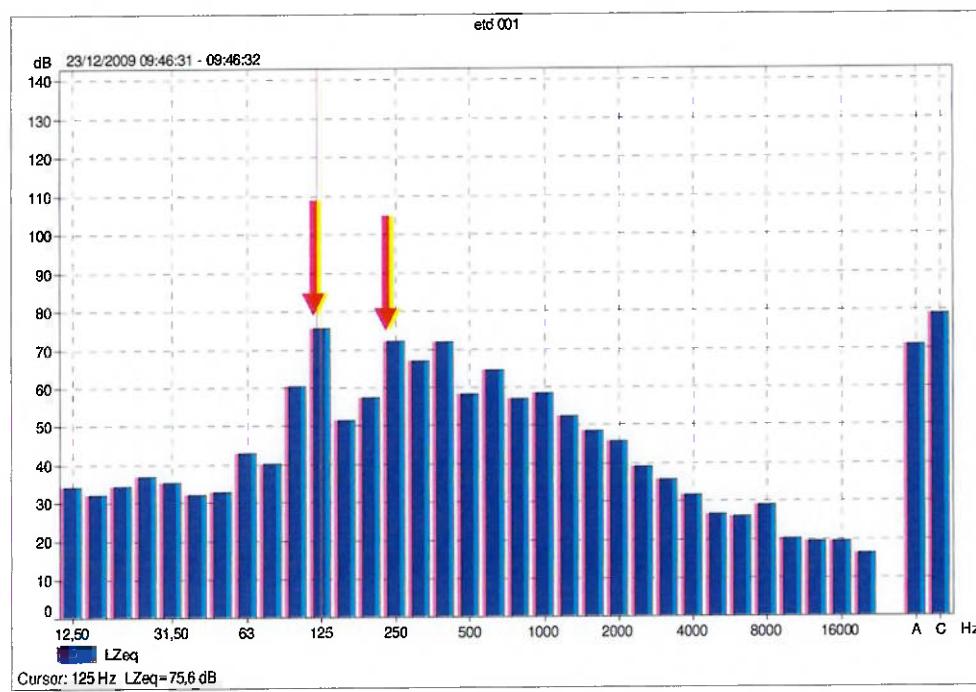


Gráfico 5 - Gráfico de espectro de banda em 1/3 de oitava gerado no momento do monitoramento, medição 01.

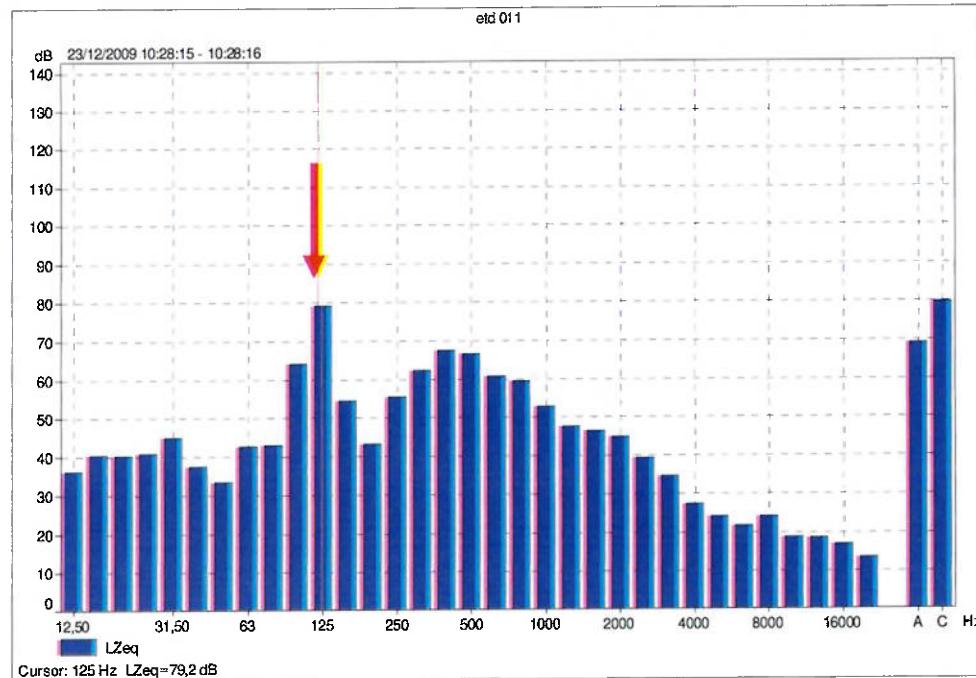


Gráfico 6 - Gráfico de espectro de banda em 1/3 de oitava gerado no momento do monitoramento, medição 11.

O mesmo ocorreu no monitoramento do ruído do transformador com o sistema de arrefecimento forçado acionado, pois há ainda a clara influência da freqüência de banda de 125 Hz na composição do ruído, como se segue abaixo.

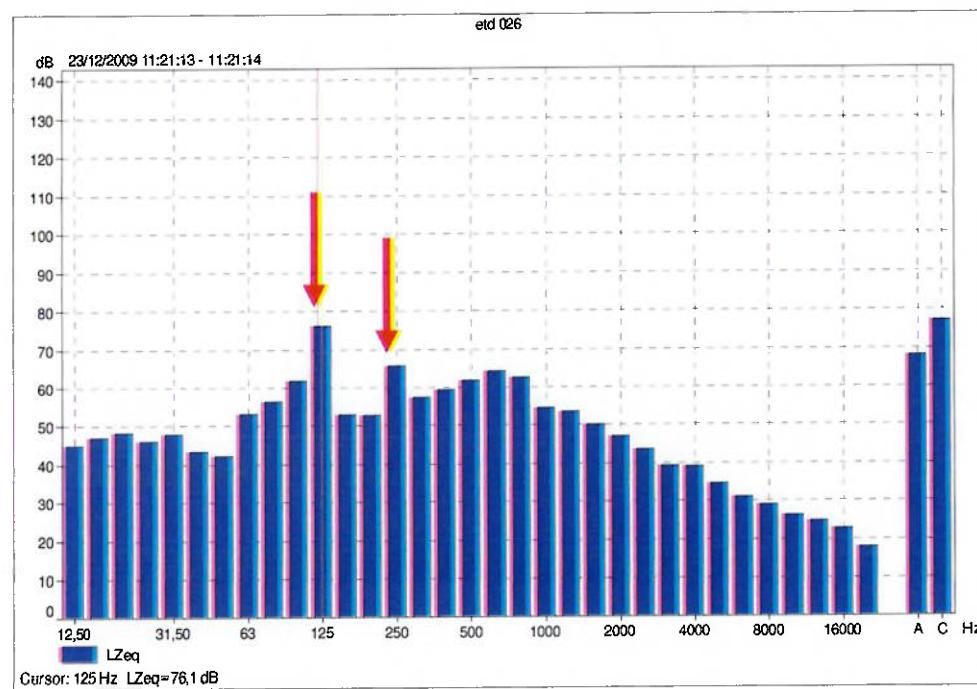


Gráfico 7 - Gráfico de espectro de banda em 1/3 de oitava gerado no momento do monitoramento, medição 26.

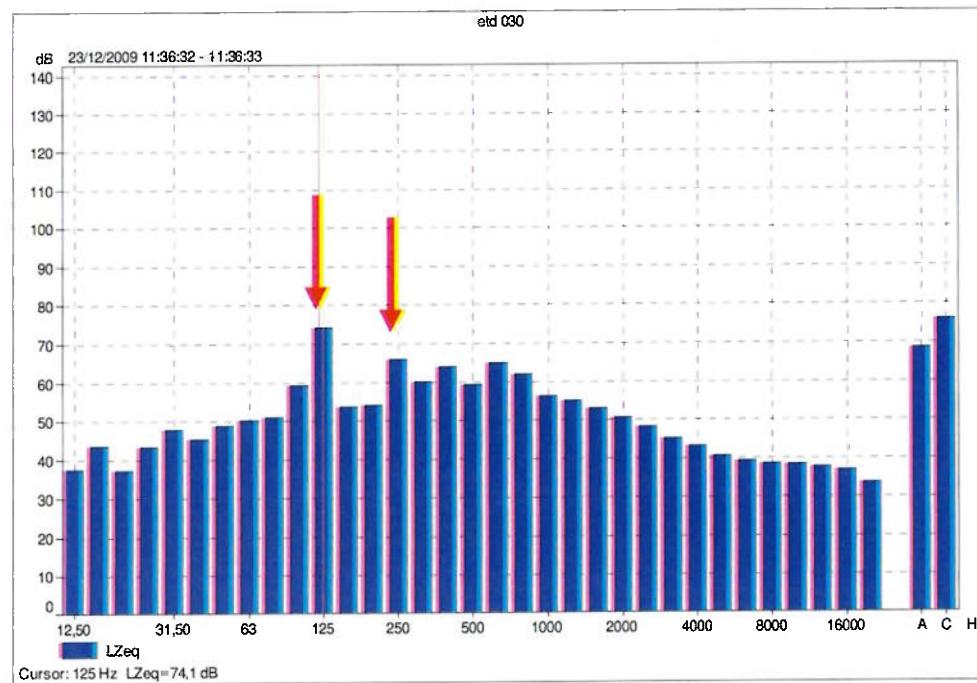


Gráfico 8 - Gráfico de espectro de banda em 1/3 de oitava gerado no momento do monitoramento, medição 30.

#### 4.3. Avaliação do ruído do lado externo da subestação.

As medições do lado externo da subestação foram realizadas em 03 (três) pontos diferentes, nos pontos considerados como receptores de ruído. O ponto de número 3 se apresenta mais distante da fonte de ruído, pois não se obteve autorização para realizar o monitoramento na residência que faz limite à subestação. Os pontos de GPS foram lançados sobre a imagem do Google Earth, o que facilita a identificação dos locais monitorados.



Figura 10 - Imagem do Google Earth Pró com a localização dos pontos externos monitorados.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de matriz do Google Earth.

As medições com os equipamentos de ventilação forçada desligados e posteriormente acionados se apresentam na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados obtidos com a avaliação externa de ruído.

Identificação dos pontos	Sistema de	Sistema de	Coordenadas	
	Ventilação	Ventilação	(UTM)	
	Desligado	Acionado	X	Y
	dB(A)	dB(A)		
1 - Estrada da Pedra Grande altura do número 1570 defronte o portão da subestação	43,9	41,6	465710	7392672
2 - Estrada da Pedra Grande altura do número 370	41,8	54,9	465665	7392658
3 - Rua Itália Baffe Magni altura do número 51	44,0	40,4	465612	7392664

É interessante notar que em 2 (dois) locais de monitoramento, pontos 01 e 03, contrariando o esperado, o valor obtido com o equipamento de arrefecimento desligado foi maior que o medido com o sistema de arrefecimento ligado. Tal fenômeno se deve à presença de ruídos externos (do ambiente) que compuseram o ruído final. Esses resultados demonstram claramente a influência do ruído ambiente na composição do ruído externo, ficando assim impossível de identificar a parcela de contribuição proveniente do transformador, conforme ilustram o Gráfico 9 e figura 11.

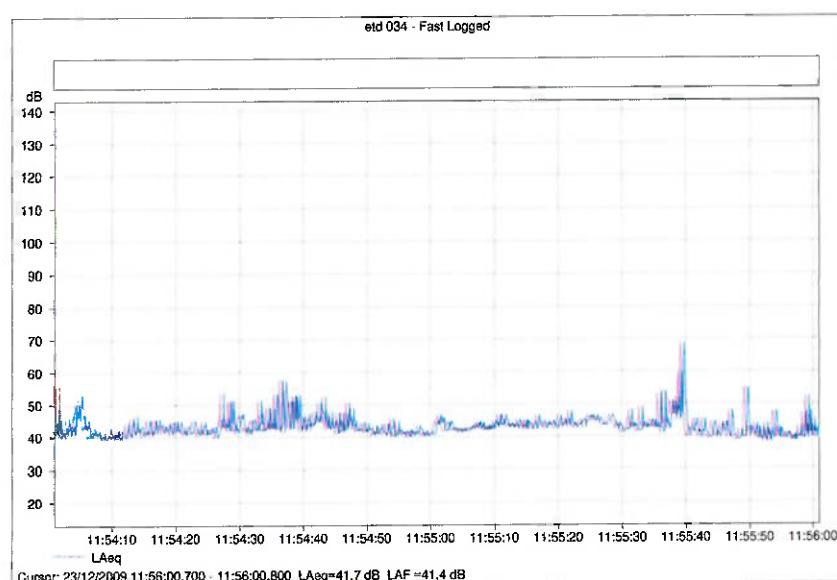


Gráfico 9 – Gráfico gerado na avaliação do ruído externamente à subestação no ponto de medição 01 com o sistema de arrefecimento forçado desligado.

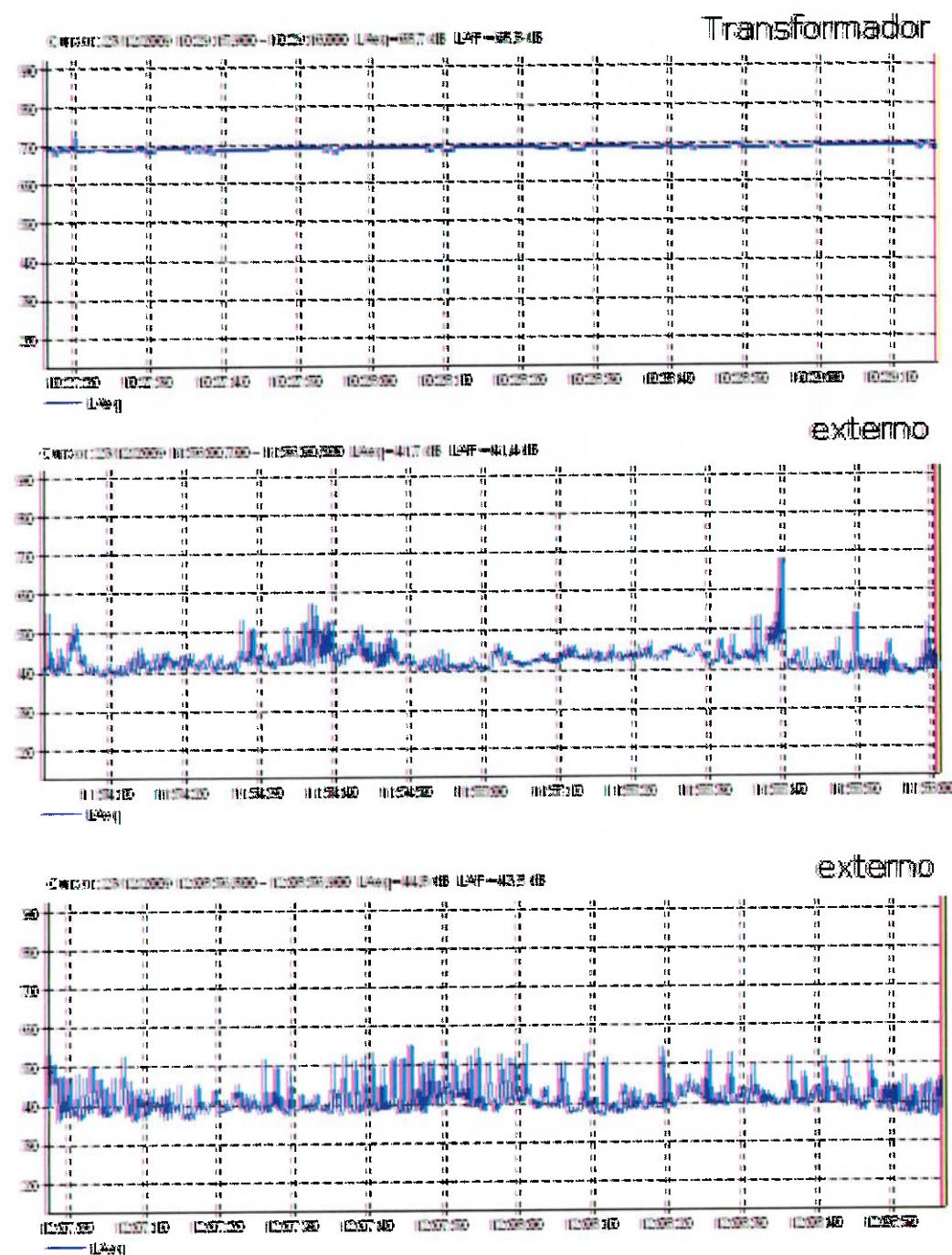


Figura 11 - Comparação dos gráficos gerados na avaliação do ruído no transformador e no meio externo à subestação nos pontos de medição 01 e 03 com o sistema de arrefecimento forçado acionado.

A presença de ruído externo é percebida ainda com mais clareza no gráfico gerado na avaliação no ponto 02, onde se pode perceber nitidamente a passagem de um veículo próximo ao local de medição, destacado e indicado pela seta vermelha.

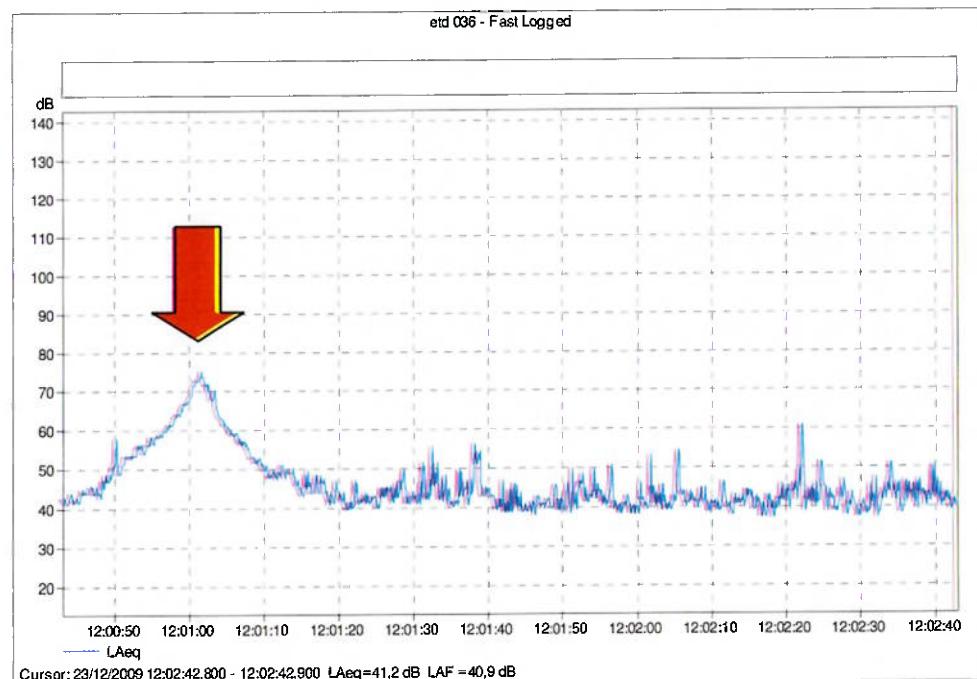


Gráfico 10 - Gráfico gerado na avaliação do ruído externamente à subestação no ponto de medição 02 com o sistema de arrefecimento forçado desligado.

#### **4.4. Cálculo do nível de ruído no lado externo da subestação proveniente do equipamento (transformador).**

O primeiro passo é calcular a distância entre os pontos desejados e o transformador, a parir da equação (9), indicada abaixo, considerando o posicionamento geográfico dos pontos capturados com o uso do GPS.

$$(9) \quad (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 = (D)^2$$

A Figura a seguir demonstra o posicionamento dos pontos demarcados com o uso do GPS, sobre imagem do Google Earth.



Figura 12 - Localização dos pontos com o uso do GPS (Bandeiras azuis) transportadas para o Google Earth Pró. Elaborado pelo autor a partir de matriz do Google Earth.

A tabela abaixo demonstra a distância em metros entre os pontos externos e o transformador calculada a partir da equação (9).

Tabela 6 - Posicionamento geográfico em UTM do transformador, dos pontos externos e cálculo da distância em relação ao transformador.

Identificação dos pontos	Coordenadas (UTM)		Distância em metros em relação ao Transformador
	X	Y	
Transformador	465652	7392704	0
1 - Estrada da Pedra Grande altura do número 1570 defronte o portão da subestação	465710	7392672	66,24
2 - Estrada da Pedra Grande altura do número 370	465665	7392658	47,80
3 - Rua Itália Baffe Magni altura do número 51	465612	7392664	56,57

Utilizando as distâncias indicadas na Tabela 6 é possível calcular a atenuação pela distância através da equação (8).

$$(8) \quad L_{pAR} = L_{wA} - 10 \log_{10} \frac{S_h}{S_0}$$

Onde:

$L_{wA}$  – nível de potencia acústica em dB(A) do transformador  **$L_{wA} = 76,35 \text{ dB(A)}$**

$S_h$  -  $2R^2$  - Área da superfície de uma semi-esfera de raio R (distância), em metros quadrados.

Assim a Tabela - 7, a seguir, demonstra os resultados de ruído obtidos com o cálculo de atenuação pela distância para os pontos avaliados do lado externo da subestação, usando como ponto de partida a potência acústica em dB(A) do transformador, utilizando-a como nível de ruído para estimá-lo com a distância, conforme indica a MB-1631.

Tabela 7 – Nível de ruído calculado de acordo com a distância para os pontos externos à subestação.

Identificação dos pontos	Coordenadas (UTM)		Distância em metros em relação ao transformador	Nível de ruído em dB(A) calculado
	X	Y		
Transformador	465652	7392704	0	76,35
1 - Estrada da Pedra Grande altura do número 1570 defronte o portão da subestação	465710	7392672	66,24	36,91
2 - Estrada da Pedra Grande altura do número 370	465665	7392658	47,80	39,75
3 - Rua Itália Baffe Magni altura do número 51	465612	7392664	56,57	38,29

Ao comparar os resultados obtidos pelas medições, obtidos através dos cálculos de Nível de Ruído com os limites estabelecidos pela legislação, especificamente pelos padrões de NCA presentes na NBR 10.151 (Tabela - 1), percebe-se que para os resultados obtidos somente com as medições a instalação estaria em desconformidade com a legislação, principalmente no que se refere ao ponto 02, dado que o ruído foi de 54,9 dB(A) (em vermelho na Tabela 8), enquanto que o limite estabelecido pela NBR 10.151 é de 50 dB(A) para o período diurno e 45 dB(A) para

o período noturno, em áreas ocupadas estritamente por residências. O mesmo não ocorre quando usamos para comparação os dados obtidos através dos cálculos de nível de ruído utilizado.

Tabela 8 – Comparação do NCA da NBR 10.151 com os resultados de nível de ruído através do monitoramento e dos cálculos

Identificação dos pontos	Área estritamente residencial urbana ou de hospitais e escolas (NCA – NBR 10.151)		Nível de ruído medido	Nível de ruído Sist. de resfr.	Nível de ruído calculado de acordo com a distância
	Diurno	Noturno	desligado em dB(A)	acionado em dB(A)	em dB(A)
1 – Estrada da Pedra Grande altura do número 1570 defronte a subestação	50	45	43,9	41,6	36,91
2 – Estrada da Pedra Grande altura do número 370	50	45	41,8	54,9	39,75
3 - Rua Itália Baffe Magni altura do número 51	50	45	44,0	40,4	38,29

Portanto, se a avaliação da emissão de ruído fosse executada somente pelo monitoramento externo à subestação, os resultados obtidos indicariam uma necessidade de controle de poluição equivocada, o que, na prática, acarretaria em custos adicionais de engenharia para adequação das normas, e em última análise, situação desconfortável perante a legislação.

Vale ainda ressaltar que a subestação escolhida para a realização deste estudo, apesar ser localizada em uma área estritamente residencial, por sua proximidade com a serra do mar e pela região ainda não apresentar ruas e avenidas pavimentadas, o fluxo de veículos e, portanto, o nível de interferências externas à medição é ainda de pequena magnitude, no entanto, o mesmo não é verdadeiro para a grande parte das subestações de distribuição que se encontram mais próximas aos centros de carga.

Desta forma a metodologia proposta neste estudo pode ser utilizada para confrontar os dados obtidos quando da realização do monitoramento externo, podendo ainda

ser usada para o cálculo do ruído a ser emitido no futuro quando da ampliação da capacidade da subestação na instalação de mais um transformador.

## 5 CONCLUSÕES

Os principais apontamentos conclusivos deste estudo podem ser elencados como disposto a seguir:

1. O método apresentado mostrou-se alternativa adequada para mensurar o real ruído causado pelos transformadores de subestações de distribuição de energia,
2. Os resultados obtidos pelo método alternativo revelaram que existem diferenças substanciais nas medições comparadas entre as tomadas do ruído dos transformadores e aquelas medidas no ambiente externo das instalações, mostrando que a medição superestimada da segunda é fortemente influenciada pelo complexo de sons produzidos pelo ambiente. Tal superestimação pode ter impacto negativo no controle de ruídos das subestações, ao sinalizar falsa geração de poluição sonora, e, portanto, atribuir responsabilidade injusta às instalações.
3. A elaboração deste trabalho contribui e reforça junto à comunidade científica e aos profissionais da área a necessidade de se fazer a correta avaliação e monitoramento de ruído de subestações de distribuição de energia elétrica.

Dado que as análises de medição de ruído são feitas convencionalmente apenas através de tomadas externas, e que a mensuração direta nos transformadores se mostrou eficiente, recomenda-se o método ora proposto como um instrumento alternativo de calibragem, recomenda-se, como continuidade deste estudo que sejam feitos novas avaliações deste método em subestações de distribuição que contenham mais de 01 (um) transformador instalado e em operação.

## 6 REFERÊNCIAS

AMBIENTE BRASIL. Poluição Sonora. 2010. Disponível em:  
<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base/urbano/índex.html&conteúdo=./urbano/poluiçāo sonora.html> Acesso em 21 de janeiro de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – avaliação de ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7277/ MB-1631**: transformadores e reatores – determinação do nível de ruído. Rio de Janeiro, 1988 24p.

BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle de ruído. São Paulo: Edgard Blucher, 1<sup>a</sup> Edição, 2006. 368 p.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Resolução 01 de 08 de março de 1990. Disponível em:  
<http://www.mma.gov.br/conama/res/res90/res0190.html> Acesso em 22 de janeiro de 2010.

BRASIL (PAÍS). Conselho Nacional de Meio Ambiente. Institui em caráter Nacional o Programa Nacional Educação e Controle da Poluição Sonora. Resolução 02 de 08 de março de 1990. Disponível em:  
<http://www.mma.gov.br/conama/res/res90/res0290.html> Acesso em 22 de janeiro de 2010.

BRASIL (PAÍS). LEI 6938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação. Disponível em <https://www.iusnatura.com/DetalheNormas.aspx>. Acesso em 25 de janeiro de 2010.

BRASIL (PAÍS). LEI 9605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em [https://www.iusnatura.com/DetalheNormas?Id\\_Cal\\_3079.aspx](https://www.iusnatura.com/DetalheNormas?Id_Cal_3079.aspx). Acesso em 25 de janeiro de 2010.

COSTA, S. **Técnicas de monitoramento de transformadores de potência direcionadas à manutenção com nas condições.** 1999. 93 p. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

CREMONESI, J. F. **Ruído urbano.** 1984. 157 p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984.

GOLÇALVES, F.A., LOPES, J.C.R., GOUVEA, M.R., CUNHA, A.P., DUARTE, D.P. & SIMÕES, M.E. **Implementação de subestações na faixa de transmissão.** Publicação eletrônica ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it07.pdf>. Acesso em 21 de janeiro de 2009.

HARRIS, C. M. **Manual para el control del ruído.** Tradução para o espanhol de Jose Fidel Rodriguez Acosta et al. Madrid: Instituto de Estudios de Administracion Local, 1977. 747 p.

JENS, R. D. **Modelo de monitoramento e avaliação da confiabilidade e disponibilidade de sistemas de distribuição de energia elétrica com base nas condições de uso de transformadores.** 2006. 134 p. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

IEA INTERNATIONAL ENERGY AGENCY Key World Energy Statistics Paris: IEA, 2009 Disponível em: [http://www.iea.org/Textbase/nppdf/free/2009/key\\_stats\\_2009.pdf](http://www.iea.org/Textbase/nppdf/free/2009/key_stats_2009.pdf) Acesso em 23 de janeiro de 2010.

KAWAKITA, C, Y. **Medição do ruído de tráfego na rodovia SP270 e avaliação da satisfação quanto ao conforto acústico de seus moradores.** 2008. 174 p. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MASIERO, B. S. **Controle ativo de ruído para transformadores de potência em campo.** 2007. 152 p. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, M. P. G. **Sistema Espacial de Apoio à Decisão: Modelos para Análise do Adensamento de Atividades Econômicas no Espaço Urbano.** 1997. 71 p. Dissertação (Mestrado) – Fundação João Pinheiro, Escola do Governo de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1997.

PETIAN, A. **Incômodo em relação ao ruído urbano entre trabalhadores de estabelecimentos comerciais no município de São Paulo.** 2008. 111 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

RIOS, A. L. **Efeito tardio do ruído na audição e na qualidade do sono em indivíduos expostos à níveis elevados.** 2003. 155 p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2003.

SANTOS, U. P. (Org). **Ruído: Riscos e Prevenção.** São Paulo: Hucitec, 1994. 157 p.

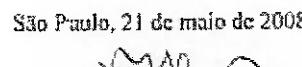
SÃO PAULO (ESTADO). Lei 997 de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio-ambiente. Disponível em <<https://www.iusnatura.com/ControlePoluicao.aspx>>. Acesso em 25 de janeiro de 2010.

SÃO PAULO (ESTADO). Decreto 8468 de 08 de setembro de 1976. Aprova o regulamento da Lei 997/76. Disponível em <<https://www.iusnatura.com/ControlePoluicao.aspx>>. Acesso em 25 de janeiro de 2010.

SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO: Normas Regulamentadoras NR1 a 35. Manuais de Legislações Atlas. 62º Edição. São Paulo. Editora Atlas, 2008. 797 p.

## ANEXOS

### Anexo A – Certificado de calibração do calibrador acústico

<b><i>CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO</i></b>	
<b>Certificado Nº: 2142008</b>	
<b><i>Calibração de:</i></b>	
Modelo:	4231
Descrição:	Calibrador Acústico
Número de série:	2528431
Fabricante:	Brüel & Kjaer
	Norma aplicada: IEC 60942:2003
<b><i>Solicitante do serviço:</i></b>	
Nome:	<b>Bandeirante Energia S.A</b>
Endereço:	Rua Bandeira Paulista, 530 5º andar Chácara Itaim - São Paulo / SP
CEP:	04532-001
Processo IACM B&K nº 63208	
<b><i>Condições da calibração:</i></b>	
Temperatura ambiente:	(23.5 ± 0.3) °C
Umidade relativa do ar:	(48.6 ± 1.3) %UR
Pressão atmosférica:	(930.1 ± 1.2) mbar
<b><i>Documentação utilizada:</i></b>	
Procedimento de calibração BPC 06 para calibrador de nível sonoro	
<b><i>Resultados:</i></b>	
<input type="checkbox"/> Calibração inicial	<input type="checkbox"/> Calibração antes do ajuste
<input checked="" type="checkbox"/> Calibração sem ajuste	<input type="checkbox"/> Calibração após ajuste
<i>Este certificado atende ao requisito de acreditação pela Cgcre/Inmetro, a qual avalia a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.</i>	
Data da calibração: 21 / 05 / 2008	Data do recebimento: 08 / 05 / 2008
São Paulo, 21 de maio de 2008	
 Marcos Allegretti	 Alvaro H. Montiel

## Anexo B – Certificado de calibração do Medidor de Nível Sonoro

*Laboratório de calibração acreditado pela Cgcer/Inmetro de acordo com a NBR ISO/IEC 17025 sob o número 305.*

*Certificado N°: 2132008*

### CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

**Calibração de:**

Modelo:	2250	Número de série:	2506791
Descrição:	Medidor de Nível Sonoro	Identificação:	—
Fabricante:	Brüel & Kjaer	Classe:	Tipo I
Modelo:	4189	Fabricante:	Brüel & Kjaer
Descrição:	Microfone	Número de série:	2534167

**Cliente:**

Nome: **Bandeirante Energia S.A.**  
Endereço: **Rua Bandeira Paulista, 530 5º andar Chácara Itaim - São Paulo / SP  
04532-001**

Processo LACEL B&K n° 13288

**Condições de Calibração:**

Temperatura ambiente:	(24 ± 2) °C
Umidade relativa do ar:	(50 ± 5) % UR
Pressão atmosférica:	(930 ± 5) mbar



**Documentação utilizada:**  
Procedimento de calibração BPC 01 para medidor de nível sonoro utilizando sistema B&K 9600

**Resultados:**

Calibração inicial  Calibração antes do ajuste  
 Calibração sem ajuste  Calibração após ajuste/Reparo

**Obs:**

\_\_\_\_\_  
Data da calibração: 21/05/2008 Data de recebimento: 08/05/2008

São Paulo, 21 de maio de 2008

