



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI BAHIA - CAMPUS CIMATEC

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MBA GESTÃO DA
MANUTENÇÃO**

PAULO ROBERTO CRUZ OLIVEIRA

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA COMO FUNÇÃO ESTRATÉGICA PARA
ATIVOS DE SUBESTAÇÃO DE MÉDIA TENSÃO: ESTUDO DE CASO
EM EMPREENDIMENTO HOTELEIRO.**

Salvador

2017



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI BAHIA - CAMPUS CIMATEC
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MBA GESTÃO DA
MANUTENÇÃO

PAULO ROBERTO CRUZ OLIVEIRA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA COMO FUNÇÃO ESTRATÉGICA PARA
ATIVOS DE SUBESTAÇÃO DE MÉDIA TENSÃO: ESTUDO DE CASO
EM EMPREENDIMENTO HOTELEIRO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de pós-graduação do MBA em Gestão da Manutenção da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito final para obtenção do título de especialista.

Orientadora: Prof^a. M.Sc. Marinilda Lima

Salvador

2017

MANUTENÇÃO PREVENTIVA COMO FUNÇÃO ESTRATÉGICA PARA ATIVOS DE SUBESTAÇÃO DE MÉDIA TENSÃO: ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO HOTELEIRO.

Paulo Roberto Cruz Oliveira¹
Marinilda lima Souza²

RESUMO

O fornecimento de energia elétrica em empreendimentos industriais, comerciais e de serviço é fundamental para as empresas conseguir atingir suas metas financeiras e de qualidade. Qualquer parada inesperada deste insumo pode ocasionar prejuízos irrecuperáveis. Visando a continuidade deste insumo tão importante nos empreendimentos, neste artigo técnico serão apresentadas as principais máquinas e equipamentos de uma subestação de energia de média tensão de consumidor, detalhando o funcionamento e especificando os principais serviços, ensaios e medições aplicadas em uma manutenção preventiva. Foram analisados os resultados encontrados em um ensaio de resistência de isolamento de um transformador de potência a seco e também mostrados os valores medidos da qualidade da energia para tensão elétrica e fator de potência. Além disto, o estudo mostra um ensaio preditivo de termovisão neste mesmo modelo de subestação. Através de um estudo de caso foi mostrado a sequência dos procedimentos para uma manutenção em cubículos compactos de uma subestação de media tensão apontando inclusive irregularidades encontradas nessa manutenção preventiva.

Palavras-chave: Subestação de energia, gestão de manutenção, cubículos blindados e Transformadores de potência.

1 INTRODUÇÃO

A gestão estratégica da manutenção se tornou essencial para a sobrevivência das empresas e tanto que KARDEC (2006) esclarece que para obter o sucesso almejado com o negócio, a manutenção é importante, pois tem a capacidade de intervir na produtividade através da disponibilidade dos ativos, interferir nos lucros, pois afeta diretamente nos custos, interferir na segurança interna e do meio ambiente e interferir na qualidade percebida pelos clientes.

Atualmente os setores industriais, comerciais e de serviço necessitam bastante da energia elétrica para suas respectivas atividades. Sendo assim, é preciso precaver-se de todas as formas para não faltar este insumo tão importante durante sua operação. Por isso, várias empresas não medem esforços para que de forma sistêmica seja efetuado manutenções preventivas nas suas

¹ Pós graduando no curso em MBA em Gestão da Manutenção no SENAI Cimatec Salvador-BA, paulo.rco@live.com

² Professora Orientadora: Mestre em gestão e Tecnologia Industrial, SENAI Cimatec-BA, marinilda.lima@fieb.org.br

instalações elétricas, dando uma maior ênfase nas subestações primária de energia elétrica, visto que é lá onde se concentram os equipamentos mais caros e importantes da instalação.

A manutenção preventiva em uma subestação primária de energia é essencial, pois, nela são diagnosticadas possíveis falhas evitando assim a falta do fornecimento de eletricidade. Falhas como, por exemplo, em disjuntores com mau funcionamento no mecanismo de manobra, ajustes das chaves seccionadoras tipo faca, mau contato em conexões frouxas, transformadores com baixa isolação, enfim, itens que se não houver um acompanhamento periódico fatalmente terão problemas.

2 OBJETIVOS

Pretende-se com este estudo científico conhecer as principais máquinas e equipamentos existentes em uma subestação de energia de média tensão, além de detalhar as particularidades de cada um para poder identificar possíveis problemas quando da necessidade de uma manutenção preventiva ou até mesmo corretiva programada. Além disto, mostrar os procedimentos e utilização de equipamentos para medições e ensaios em cubículos blindados através de um estudo de caso em um empreendimento hoteleiro com carga instalada de aproximadamente 300 kW.

3 SUBESTAÇÃO DE ENERGIA DE CONSUMIDOR

Para um consumidor receber uma alimentação da concessionária de distribuição que requeira uma subestação primária em seu empreendimento, ele receberá do sistema elétrico em média tensão e de acordo com sua demanda de energia elétrica a distribuidora lhe fornecerá a tensão de acordo com a Resolução Normativa 414 / 2010 (REN 414 / 2010).

De acordo com REN 414 / 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), define-se que para uma carga acima de 75 kW e uma demanda no intervalo de 75 até 2500 kW, a tensão deve ocorrer em uma tensão menor a 69 kV.

Caso a demanda requerida pela unidade consumidora for superior 2500 kW a tensão de alimentação deste consumidor será igual ou superior a 69 kV, podendo assim a conexão desta instalação ocorrer entre Estação Transformadora de Transmissão (ETT) e a Estação Transformadora de Distribuição (ETD) nas tensões de 69, 88 ou 138 kV, porem se a demanda for muito alta e houver disponibilidade de linhas de transmissão com maior tensão nas proximidade, a conexão poderá ser feita antes mesmo da ETT na tensão de 230 kV ou superior.

3.1 TIPOS DE SUBESTAÇÃO

Segundo Mamede Filho (2015) a subestação é um conjunto de instalações elétricas e civis que acondiciona sistemas importantes: medição, proteção e transformação. Ela necessita em sua concepção, atender as necessidades de fornecimento de energia elétrica, seguindo rigorosamente as normas vigentes, permitindo sempre uma flexibilidade de manobra, fácil acesso para manutenções, confiabilidade quanto à operação e proteção e a segurança

necessária tanto para usuários quanto equipamentos. Ela poderá ser do tipo abrigado ou ao tempo. A figura 1 tem um exemplo de uma subestação de energia com blindagem mecânica, composto com cubículos de medição e proteção / seccionamento.

Figura 1 – Subestação de energia com blindagem



Fonte: Schneider Eletric (2017)

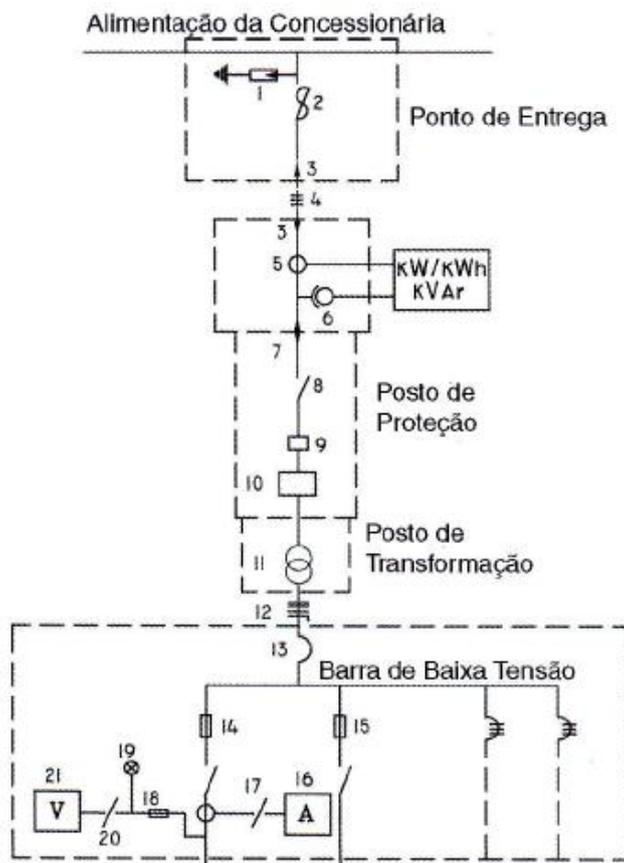
Existem basicamente dois tipos de Subestação, onde Barros (2011) define como a de consumidor que é conectada em tensão igual ou superior a 69 kV e a subestação de consumidor conectada em tensão inferior a 69 kV que poderá ter uma alimentação primária entre 2,3 kV e abaixo de 69 kV, sendo permitido a construção da subestação no ponto de entrega e também os condutores não destinados a condução de eletricidade devem ser equipotencializados a terra. Este tipo de subestação é subdividido basicamente em dois tipos, as simplificadas e a convencional. As simplificadas possuem as seguintes características: medição na baixa tensão; proteção de alta tensão por fusível; somente um transformador de potencia com no máximo de 300 kVA; pode ter seu tipo construtivo em alvenaria, blindado ou poste.

3.2 EQUIPAMENTOS DA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA

A figura 2 tem-se um modelo de diagrama unifilar com partes de uma subestação primária de energia, onde Mamede Filho (2015) distribui como, desde o ponto de entrega composto por: para-raios, chave fusível e mufla de terminação, passando pelos cabos condutores e posto de medição que utilizará o TC e TP para coleta das informações para composição da cobrança do consumo de energia elétrica; chegando ao posto de proteção quando os

barramento ou cabos de interligação passam pela bucha de passagem e dão de encontro com a chave seccionadora tripolar de manobra, relé de proteção, disjuntor tripolar e fechando a parte de média ou alta tensão, chegando ao posto de transformação, composto basicamente por transformador de potência, seja a seco ou a óleo. Na parte de baixa tensão é composto geralmente por disjuntor principal, fusíveis do tipo NH, amperímetro e voltímetro e seus comutadores respectivamente, conjunto de fusível diazed, lâmpadas de sinalização e disjuntores trifásicos ou monofásicos de baixa tensão que alimentam e protegem os circuitos secundários.

Figura 2 – Diagrama unifilar de uma subestação primária de energia



Fonte: Mamede Filho (2015)

3.2.1 Ponto de Entrega

O ponto de entrega é onde ocorre a conexão da distribuidora com a unidade consumidora situando-se no limite da via pública com a propriedade. A partir desse ponto que se limita as responsabilidades da concessionária e do consumidor, ou seja, a partir da saída da chave fusível fica a cargo do próprio empreendimento efetuar as devidas manutenções.

3.2.1.1 Sistema de para raios

Os para raios nas subestações são fundamentais para proteção das instalações elétricas contra possíveis tensões transitórias de surto provocadas por descargas atmosféricas ou anomalias internas causadas por manobras de equipamentos.

Existem dois tipos de para-raios para proteção da subestação e BARROS (2011) descreve da seguinte forma: o para-raios tipo haste reta, podendo ser do tipo Franklin ou gaiola de Faraday, sendo instalado na parte superior do empreendimento e equipotencializados com todo o sistema de aterramento e o utilizado quando requer uma proteção mais próxima da subestação, que é o para-raios do tipo válvula, conectado entre a parte superior da fase com a parte inferior do aterramento. Por ele ser monofásico, cada fase necessita de um para raios do tipo válvula para proteção individual das fases e sua atuação ocorre quando acontecem descargas atmosféricas ou anomalias da instalação que os valores ultrapassem ao valor nominal, criando um fluxo de descarga através da extremidade ligada ao aterramento por possuir uma baixa impedância e, assim, protegendo os equipamentos do circuito.

3.2.1.2 Chave fusível

A chave fusível funciona como seccionamento e também como proteção de toda a instalação a partir do ponto de entrega da concessionária, popularmente conhecido como canela, ela possui papel importante na instalação e é geralmente instalado no poste de entrada da distribuidora de energia.

3.2.2 Posto de medição

O posto de medição é constituído basicamente por transformadores para instrumentos, os TCs e TPs, e um medidor de energia elétrica que através da coleta de informações de corrente e tensão dar o valor de consumo em intervalos de 15 minutos. Na maioria das vezes este consumo é mandado remotamente para a concessionária de energia através de um sistema de transmissão de pacotes através de linha de celular.

3.2.2.1 Transformador de corrente (TC)

O TC é utilizado para coletar de forma segura e de maneira maximizada as informações de corrente para os medidores de energia, pois eles transformam um valor de corrente em outro muito menor e com isso conseguir utilizar instrumentos e circuitos eletrônicos em sistemas de potencia.

Ele é fabricado para trabalhar com uma corrente padronizada no secundário de 5A tendo a possibilidade de transformar correntes no primário de 5 a 8000 A, sendo que neste faixa são correntes pré-definidas.

3.2.2.2 Transformador de potencial (TP)

Da mesma forma que os TC os transformadores de potencial são necessários para conseguir medir a tensão de forma maximizada para os medidores de energia. A tensão no secundário é usualmente de 115 V e a do primário de acordo com as tensões padronizadas de transmissão e distribuição dos sistemas de potência.

3.2.3 Posto de proteção

No posto de proteção fica os equipamentos de manobra, o disjuntor destinado a proteger o circuito de alimentação que pode ser manobrado em carga e a chave seccionadora que tem como função isolar equipamentos ou partes do barramento, tendo que ser operadas necessariamente sem carga.

3.2.3.1 *Chave seccionadora*

As chaves seccionadoras normalmente são trifásicas e efetua manobras simultaneamente nas fases do circuito de alimentação. Para BARROS (2011) existem basicamente dois tipos para aplicações em subestações do consumidor; acionamento por manobra, onde o contato móvel da chave está ligado em um eixo rotativo podendo também ser acionado por um bastão ou a tripolar com dispositivo de abertura sob carga, que lhe possibilita a manobra ainda com carga parcial, tendo que necessariamente a abertura seja feita com uma corrente abaixo da corrente nominal do equipamento, de acordo com a especificação de corrente informada pelos fabricantes.

3.2.3.2 *Relé de proteção*

O relé de proteção é um elemento importante na proteção da instalação elétrica que interage com os transformadores para instrumentos e atua em cima do disjuntor caso haja anormalidade na subestação de energia. Sua operação está vinculada diretamente a três elementos básicos que o compõem: sensor, comparador e o de atuação.

As informações coletadas do TC e do TP são monitoradas de forma momentânea e interruptamente pelo sensor, que por sua vez envia para o comparador analisar e verificar se estão conforme os valores programados no relé e caso ultrapasse algum dos parâmetros será enviado através do elemento de atuação um comando para o disjuntor desarmar e, com isso, proteger os equipamentos da subestação.

Existem relés concebidos de diversas maneiras, sejam eletromecânicos, estáticos ou eletrônicos multi-função, que por sinal são os mais utilizados atualmente devido à confiabilidade e a flexibilidade com diversas funções em um só equipamento.

De modo geral os relés eletrônicos foram construídos para atuação na proteção de tensão e corrente anormais. Para tensão, basicamente ele protege subtensão, sobretensão e sequência de fase. Já no caso da corrente, protege para sobrecorrente instantânea e temporizada. De qualquer forma existem relés mais complexos que também pode ter funções como religamento automático, controle seletivo e transferência automática da fonte e também o relé de frequência, exigidos pelas concessionárias de energia quando o consumidor possui gerador que possui sistemas de transferência automática.

3.2.3.3 *Fusíveis*

Os fusíveis normalmente são utilizados para proteger partes da subestação, por exemplo, transformador de potência. A atuação acontece na fusão do elemento fusível, devido ao aquecimento proveniente a circulação de sobrecorrentes ou correntes de curto circuito. Também podem ser utilizados para proteção de trechos de cabos e TPs.

3.2.3.4 *Disjuntor de média ou alta tensão*

Sua função é bem parecida com os fusíveis tendo como particularidade possuir as três fases dos circuitos intertravadas, ou seja, caso exista uma sobrecorrente ou corrente de curto circuito em uma única fase sua atuação acontece nas três fases, além de ser um dispositivo eletromecânico.

Como os disjuntores conseguem ser manobrados com carga, é importante existir meios para extinção dos arcos elétricos, efeito físico que ocorre quando a corrente elétrica ultrapassa o meio isolante, conduzindo assim de forma abrupta.

Para extinção deste efeito físico foram criados disjuntores de alta tensão de diversos tipos: disjuntor a óleo, ar comprimido, vácuo, sopro magnético e a gás.

3.2.4 Posto de Transformação

Para JORDÃO (2008) os transformadores têm como princípio básico abaixar a tensão primária para uma tensão secundária para que possa alimentar as máquinas e equipamentos de acordo com as suas tensões usuais. Eles são considerados máquinas estáticas que através da indução eletromagnética transfere energia elétrica do circuito primário para outros circuitos com valores de tensão e corrente na maioria das vezes diferentes. O transformador elementar monofásico possui uma bobina ligada diretamente na alimentação elétrica, conhecido como primário, e outra bobina na saída do transformador, chamado de secundário. Basicamente é constituído de bobinas e o núcleo, conhecido também como parte ativa. A relação de transformação é dada entre a razão de espiras entre as bobinas do primário e do secundário.

Geralmente, segundo BARROS (2011) os transformadores em uma subestação funcionam como abaixador de tensão e também é concebido para atender redes trifásicas. Seu funcionamento é igual ao transformador monofásico, porem com três bobinas. Para subestações de consumidores existem dois tipos de transformadores o a óleo e o a seco.

3.2.4.1 Transformador a óleo

Conforme JORDÃO (2008) o transformador a óleo tem neste liquido a função de isolar e refrigerar as bobinas internas e além desse isolante e dos equipamentos básicos na sua construção, bobinas e núcleo, é necessário que tenha também os seguintes componentes: tanque principal com radiador, sistema de refrigeração, tanque de expansão, indicador de nível, secador de ar, termômetro de óleo, termômetro do enrolamento, tubo de explosão e válvula de alívio, rele de gás, bucha e isoladores. A figura 3 mostra uma imagem de um transformador de potência a óleo.

Figura 3 – Transformador de potência a óleo



Fonte: Ensa Transformadores (2017)

3.2.4.2 Transformador a seco

Os transformadores a seco têm revolucionado projetos que tem dificuldades de espaço físico para sua instalação, necessitam cada vez mais de confiabilidade, focados na parte ecológica, mais econômica devido à necessidade de pouco manutenção e também envolve mais segurança se comparado com os transformadores a óleo, por estes motivos tem cada vez mais ocupado às novas subestações dos empreendimentos industriais, comerciais e de serviço.

Para JORDÃO (2008) os transformadores a seco são construídos também com componentes básicos, o núcleo e o enrolamento, este revestido com resino epóxi, material altamente isolante e que protege o condutor de forma bastante segura devido ao encapsulamento resistente a esforços de curto-circuito que ele propicia. Para refrigeração deste equipamento o próprio ar que circula no ambiente faz esta função, visto que estruturalmente este tipo de transformador e geralmente aberto.

Além dos acessórios normais que ele dispõe, como por exemplo, barramentos terminais para conexão dos enrolamentos, painel de derivação sem carga, conector de aterramento, rodas bidirecionais sistema de proteção e monitoramento térmico dos enrolamentos, de forma opcional, dispor de ventilação forçada, cubículo de proteção de blindagem eletrostática e buchas desconectáveis.

Segundo Barros (2011), outro item que compõe os transformadores a seco e que é fundamental devido às variações na rede de distribuição proveniente ao aumento e diminuição de cargas atendidas por um circuito são os comutadores de tensão sem carga, mais conhecidos como TAP, que proporciona ajustar sua tensão no secundário através de um simples ajuste no primário. Não menos importante que os TAPs, é o sistema de monitoramento térmico que compõe a formação construtiva do transformador, sendo ele fundamental na proteção dos enrolamentos em caso de temperaturas acima das recomendadas pelos fabricantes, devido sua atuação no acionamento de sistemas de ventilação forçada ou até mesmo no desligamento do equipamento através de um sinal enviado para o disjuntor do sistema de proteção. A figura 4 mostra um exemplo de um transformador de potência a seco sem a blindagem.

Figura 4 – Transformador de potência a seco



Fonte: Ensa Transformadores (2017)

3.2.5 Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)

Os quadros de baixa tensão são compostos basicamente por equipamentos de proteção, disjuntores e fusíveis. É nele que chega a alimentação do secundário dos transformadores de potência e adiante as proteções para os circuitos de baixa tensão existentes no empreendimento. Circuitos estes que podem ser diversos, por exemplo, motores elétricos, máquinas diversas, iluminação, tomadas de uso específico. É de lá que sai toda a alimentação em baixa tensão que alimentará as máquinas e equipamentos daquele local. Na figura 5 tem um exemplo de um QGBT com as manobras dos disjuntores acopladas na porta do quadro.

Figura 5 – Quadro Geral de Baixa Tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2017)

Também se costuma ter nesta parte da subestação um conjunto de banco de capacitores, na maioria das vezes automática, para garantir o fator de potencia mínimo exigido pela ANEEL, pois alguns equipamentos da instalação gera uma energia reativa indutiva que precisará ser compensada de alguma forma e é através dos bancos de capacitores. Eles devem ser automáticos, pois em determinadas hora do dia pode ser que as cargas indutivas não operem e com isso passará a haver na instalação energia reativa capacitiva, sendo nesta hora que será desligada de forma automática e gradativa os bancos de capacitores.

3.2.6 Sistema de aterramento

Todas as instalações elétricas necessitam de um sistema de aterramento para garantir um bom funcionamento e uma segurança eficaz contra acidentes fatais aos usuários.

As máquinas e equipamentos da instalação, sejam eles na média tensão ou na baixa, devem dispor de aterramento e que estejam equipotencializados com a malha de aterramento do empreendimento, para quando houver uma descarga atmosférica, correntes de surtos ou até mesmos defeitos dos equipamentos

que por ventura o condutor fase alimente de forma anormal as partes metálicas.

O sistema de aterramento é composto basicamente por eletrodos de terra a qual ficará enfiado no solo de maneira a criar um caminho de baixa resistência que facilite o fluxo para descarregar a corrente elétrica defeituosa; por condutor de aterramento, onde interliga o eletrodo com o sistema de aterramento interno do empreendimento; de conexões que auxiliara nestas interligações e, por fim, dos condutores de proteção, justamente os qual interligará as carcaças dos equipamentos com o sistema de aterramento e assim fechar o caminho de baixa resistência.

3.2.7 Subestações com cubículos compactos e blindados

Para BARROS (2011), este tipo de instalação está cada vez mais presente nas novas instalações devido a inúmeras vantagens que ele proporciona. Uma vantagem bastante utilizada pelos investidores atuais de novos empreendimentos é maximizar a utilização dos espaços internos, principalmente porque nos dia atuais há uma escassez de novos terrenos nas grandes capitais, este tipo de subestação proporciona aos usuários e profissionais da área alto nível de segurança, pois todas as partes vivas ficam acondicionadas de forma blindada e em cubículos e sua composição lhe propicia o seccionamento eficaz entre as partes da subestação tanto para desligamento como aterramento das instalações em caso de manutenções.

4 MANUTENÇÃO DA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA

Conforme a Norma Regulamentadora 10 (NR-10) para efetuar qualquer tipo de manutenção é necessário seguir procedimentos para operar o seccionamento dos dispositivos de manobra da subestação. Inicialmente é necessário envolver de forma oficial a concessionária para o desligamento completo da subestação e com isso ter a maior segurança possível nessa atividade. Também é essencial um planejamento referente à hora de inicio e fim dos trabalhos, se haverá interrupção de energia total ou parcial de energia elétrica no empreendimento, analisar previamente o diagrama unifilar para conhecer exatamente a sequencia de manobra, dispor de todos os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Equipamento de Proteção Coletiva (EPC) necessários para operação de manobra e sempre antes de qualquer intervenção de manobra ficar atento com os outros profissionais que estejam envolvidos na execução do serviço.

É muito importante seguir exatamente as normas de segurança vigentes em especial a NR-10 que estipula exatamente a sequência de seccionamento dentro de uma subestação para considerá-la desenergizada, que são: efetuar desligamento, as proximidades tem que estar isolado e bloqueado, fazer teste com detector de tensão, efetuar aterramento entre fases e por fim sinalizar com algum tipo de sinalização nos seccionadores que esta sendo feito um serviço naquele local e colocando todas as informações pertinentes e exigidas pela norma.

4.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

As manutenções em qualquer equipamento elétrico são necessárias para que esteja sempre disponível e também para aumentar sua vida útil, obedecendo

às normas técnicas, critérios definidos pelos fabricantes e especificação do setor especializado da empresa.

Dados importantes que pode levar há alguma intervenção nos equipamentos é com relação ao local da instalação, por exemplo, cidades praianas requerem uma atenção maior, a quantidade de operação, periodicidades de manutenção, condições físico-químicas, tensão e cargas dos equipamentos.

As manutenções podem ser subdivididas em três tipos, a preventiva, corretiva ou preditiva. Elas se caracterizam como serviço de controle, conservação e restauração com objetivo de manter em condições de uso, antecipando possíveis anomalias e tornando a instalação sempre disponível.

As periodicidades das manutenções tem que ser definidas por um especialista antes mesmo da colocação dos equipamentos para funcionarem, com auxílio dos manuais técnicos e das experiências anteriores com os mesmos equipamentos do Planejador de Manutenção.

4.1.1 Manutenção preventiva

Tem como finalidade prevenir eventuais problemas e anomalias de forma antecipada, sendo uma ação sistêmica de controle e monitoramento. Sua execução deve seguir orientações dos fabricantes quanto à periodicidade e tipo de intervenções e seguindo exatamente as recomendações o empreendimento terá os equipamentos operando e também prolongando sua vida útil.

A manutenção preventiva ultimamente tem sido muito utilizada pelas empresas, pois é comprovado que ela evita danos maiores com relação à produção daquela empresa e também evitando custos desnecessários de peças e tempo de parada quando é necessário fazer uma intervenção corretiva.

4.1.2 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva tem a finalidade de reparar falhas ou defeitos causados na maioria das vezes de forma inesperada. Elas podem ser emergenciais, onde a intervenção tem a finalidade da correção imediata; também corretiva de urgência, onde a intervenção visa à correção o mais rápido possível e por fim a programada que visa a corrigir falhas ou defeitos a qualquer tempo.

Quase sempre a manutenção corretiva te leva a custos maiores para efetuar os reparos, devido justamente ao fato da parada daquele equipamento ser de forma inesperada, pois além de ser agravar o problema necessitará de um tempo maior de mão de obra para efetuar o conserto.

4.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva consiste no controle e na verificação com objetivo de atestar as condições de operação das instalações e caso seja identificado alguma anormalidade, pode-se programar uma manutenção corretiva e aumentar os monitoramentos das manutenções preventivas.

4.2 TESTES E ENSAIOS

Na manutenção dos equipamentos de uma subestação é importantes ter diagnósticos precisos para avaliar as condições apurada das instalações elétricas. Para isto utilizam-se instrumentos de medição e ensaios para avaliar e atestar a real situação dos equipamentos que ali dispunha.

Os ensaios são fundamentais na avaliação dos equipamentos da subestação para avaliar se existe alguma anormalidade. Por isto existe no mercado instrumentos essencial para uma realização de manutenção preventiva com qualidade e eficácia. Os mais utilizados, são o megôhmetro, microhmímetro, termovisor, terrômetro, testador de rigidez dielétrica, instrumento de ensaio de tensão aplicada e o medidor de relação de espiras, a seguir será falado um pouco de alguns destes equipamentos.

O megômetro é um dos instrumentos mais utilizados para manutenções preventivas, pois mede a resistência de isolamento. Por se tratar de eletricidade de media tensão, praticamente todos os equipamentos de uma subestação necessitam que seja atestado como esta o material isolante para validar a necessidade ou não de uma intervenção mais profunda. Eles podem ser digital ou analógico, na figura 6 tem-se uma imagem deste instrumento para uma tensão máxima de 15 kV.

Figura 6 – Megômetro Analógico da Instronic tensão 15 kV



Fonte: Instronic Instrumentos de teste e ensaios (2017)

O microhmímetro é utilizado para medir valores baixos de resistência visando coletar informações para validar os valores aceitáveis principalmente nos contatos de disjuntores e chaves seccionador e às vezes utilizado também em enrolamentos dos transformadores. Na figura 7 tem-se um microhmímetro digital que pode gerar correntes elétricas de 10 a 600 A.

Figura 7 – Microhmímetro Digital da Instronic



Fonte: Instronic Instrumentos de teste e ensaios (2017)

O termovisor é bem parecido com uma filmadora ele tem como finalidade captar os pontos de aquecimento nas instalações elétricas sinalizando possíveis problemas causados por sobrecarga, mau contato nas conexões ou até mesmo defeito pontual em algum equipamento. A figura 8 corresponde a um Termovisor tipo câmera do fabricante Instronic que possui um range de medição de -40°C a 500°C .

Figura 8 – Termovisor infravermelho tipo câmera



Fonte: Instronic Instrumentos de teste e ensaios (2017)

O terrômetro é um instrumento que tem como finalidade verificar e atestar sistema de aterramento do empreendimento através da medição da resistência de terra e também de tensões espúrias geradas pelas correntes parasitas no solo. Muito usado também para medições do Sistema de Proteção Contra Descargas atmosférica (SPDA). Na figura 9 tem-se um terrômetro digital da Instronic que possui uma tensão de teste de 50 V fornecendo assim uma maior segurança e precisão na informação coletada.

Figura 9 – Terrômetro digital



Fonte: Instronic Instrumentos de teste e ensaios (2017)

O testador de rigidez dielétrica é utilizado para efetuar o teste de óleo no caso de transformadores e disjuntores a óleo. O instrumento possui um compartimento onde é colocado o óleo sob ensaio e por possuir dois eletrodos afastados entre si mergulhados neste líquido, ao se aplicar uma tensão de forma gradual identifica-se exatamente com qual tensão romperá o dielétrico do óleo. Esta tensão de rompimento que corresponde à rigidez dielétrica do óleo e consoma-se repetir este ensaio por algumas vezes para garantir a confiabilidade do resultado.

Os instrumentos de ensaio de tensão aplicada, conhecido também pelos profissionais da área como teste de Hipot, é utilizado para testar a isolação

elétrica de aparelhos e equipamentos utilizando de uma tensão elevada para praticar o ensaio.

Geralmente os materiais isolantes dos dispositivos elétricos produzem uma corrente mínima de fuga, porém devem-se atentar aos requisitos máximos desta fuga fornecidos pelos fabricantes e devido à absorção de umidade, acúmulo de sujidades entre outros problemas normais que acontecem em qualquer instalação elétrica estes valores mínimos de fuga pode se tornar excessiva, causando assim problemas nas máquinas e equipamentos.

Por isto faz-se necessário à aplicação deste ensaio depois de certo tempo de vida útil daqueles equipamentos da subestação ou que por ventura seja encontrado uma anormalidade pontual, como por exemplo, uma única terminação mufla danificada por erro de instalação em uma quantidade bem maior existente na instalação que por ventura ainda não deu problemas, pois ao invés de trocar todas as muflas, aplica um teste de Hipot em todas as terminações para atestar a mínima corrente de fuga recomendada.

Estes instrumentos podem ser concebidos para aplicar tensões alternadas ou contínuas e seu teste por requerer aplicação de tensões elevadas pode ser destrutivo caso os equipamentos estejam comprometidos. A figura 10 corresponde a um Hipot de tensão alternada aplicada de até 15 kV.

Figura 10 – Ensaio de tensão aplicada



Fonte: Instronic Instrumentos de teste e ensaios (2017)

O medidor de relação de espiras, conhecido também como TTR é uma instrumento de medição da relação entre espiras, utilizando o princípio magnético dos transformadores com a proporção entre os enrolamentos, avaliando assim a real situação das boninas e também quanto à continuidade. Ele pode ser digital ou analógico com a utilização de uma manivela.

5 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso foi realizado na subestação de um empreendimento hoteleiro, localizado na Avenida paralela, Salvador na Bahia e é composta por um cubículo de medição e proteção da marca Schneider modelo SM6 – 24, um transformador trifásico a seco da Comtrafo de 750 kVA de tensões no primário de 11.400 V e no secundário de 380 V e por um QGBT composto por

disjuntores de baixa tensão trifásicos, bifásicos e monofásicos que alimentam o sistema de ar condicionado, máquinas e equipamentos da cozinha industrial, tomadas de uso específico e geral e também toda iluminação. A duração total da parada de manutenção foi de seis horas continuamente.

Essa subestação foi projetada para atender as seguintes máquinas e equipamentos deste hotel:

- 190 máquinas de ar condicionado do tipo Split de 12.000 BTUs cada;
- 40 máquinas de ar condicionado do tipo Split K7 de 24.000 BTUs cada;
- 10 máquinas de ventilação forçada com potência máxima de 30 CV;
- 15 bombas elétricas de recalque e circulação de água com potência máxima de 92 CV;
- Iluminação do hotel com potência máxima instalada de 40 kW;
- Equipamentos industriais de cozinha (forno combinado, balcões refrigeradores, câmaras frigoríficas e máquinas de menor porte) com potência máxima instalada de 30 kW.

5.1 SERVIÇOS PRELIMINARES

Inicialmente foi necessário efetuar a contratação de uma empresa especializada com profissionais qualificados, capacitados, habilitados e autorizado pela empresa para prestar a manutenção preventiva na sua subestação de energia.

Essa empresa foi contratada e iniciou todo o processo burocrático para agendamento do serviço, desde a solicitação do desligamento da entrada de energia pela concessionária até os procedimentos básicos de segurança para necessariamente iniciar a manutenção preventiva.

Antes mesmos dos profissionais da concessionária vir efetuar o desligamento, outra equipe deste mesmo distribuidor de energia veio ao hotel efetuar uma visita preliminar e conhecer as instalações elétricas para então enviar os profissionais que iriam efetuar as manobras para desligamento da subestação.

No dia do desligamento foram retiradas as cargas de energia que estavam sendo alimentados pelo transformador da subestação, deixando o hotel alimentado pelo gerador de energia. Após isto iniciou as manobras de desligamento e aterramento no cubículo de proteção.

Após essa manobra foi necessário através de um detector de tensão verificar se os barramentos de saída do cubículo de proteção realmente estão sem alimentação.

Confirmado que realmente não há mais tensão nos barramentos após o cubículo de proteção foi à hora da equipe de profissionais da concessionária efetuar o desligamento total da subestação, até porque necessitou efetuar a manutenção também no cubículo de medição e proteção, pois parte deste equipamento ainda existia tensão até o disjuntor de média tensão.

Mesmo vendo que o rele de proteção do cubículo de medição e proteção desligou foi necessário também passar o medidor de tensão para certificar que

a alimentação elétrica foi desligada totalmente e aí sim iniciar propriamente a manutenção preventiva dos equipamentos da subestação.

5.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA CUBÍCULO DE MEDIÇÃO E PROTEÇÃO

Como a equipe da empresa terceirizada estavam com seis funcionários, entre engenheiros eletricitas, eletrotécnicos e eletricitas foram divididos em duas equipes, uma ficou a cargo de efetuar a manutenção no cubículo de medição e proteção e a outra no transformador a seco de 750 kVA.

A preventiva efetuada no cubículo de medição e proteção foi basicamente limpeza, reaperto de todas as conexões e inspeção visual, visto que o empreendimento só tem um três anos de vida e por procedimentos coletados no manual do fabricante, até mesmo este tipo de intervenção só seria necessário a cada seis anos, na figura 11 têm-se imagens do cubículo aberto na hora da execução da manutenção.

Figura 11 – Cubículo de medição com TPs e TCs



Fonte: Elaborada pelo autor (2015)

No cubículo de proteção foi encontrada uma irregularidade ligada ao relé de multi-função, pois não estava fazendo a leitura de corrente para atuação em uma possível sobre corrente e tão pouco de tensão, para irregularidades por falta de fase, sub-tensão ou sobre-tensão o relé atuar no desligamento do disjuntor. Com relação a não leitura da corrente era simplesmente o esquecimento por parte da instaladora de retirar o jumper de fabrica que vem no TC, após ter sido retirado a leitura voltou ao normal. Já com relação aos valores de tensão se deve devido a um erro de projeto que não dispôs de um TP para coleta desta informação no cubículo de proteção, tendo o cliente que adaptar a instalação de TPs fora do cubículo para ativar o sistema de proteção em media tensão da sua instalação, ou até mesmo trocar o cubículo de proteção por inteiro.

5.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA CUBÍCULO DE TRANSFORMAÇÃO

Antes mesmo de iniciar os serviços preliminares foi analisada no relé de controle do transformador a temperatura interna do equipamento para analisar se existia alguma irregularidade, sobrecarga ou fuga de corrente, e constatou-se que a temperatura estava dentro dos padrões aceitáveis pelo fabricante, na figura 12 tem-se a imagem deste relé indicando a temperatura.

Figura 12 – Relé de controle do transformador

Fonte: Elaborada pelo autor (2015)

Além da manutenção básica de limpeza e reaperto das conexões também foi efetuado ensaio com megômetro analógico para medição das resistências de isolamento dos enrolamentos, na figura 13 têm-se imagens da ligação dos fios deste ensaio e também dos instrumentos usados. Na tabela 1 têm-se os valores encontrados ao aplicar uma tensão no primário de 5 kV e no secundário de 0,5 kV para uma umidade relativa do ar em 71% e temperatura ambiente de 28°C.

Figura 13 – Ligação para medição da resistencia de isolamento

Fonte: Elaborada pelo autor (2015)

Tabela 1 – Resistência de isolamento dos enrolamentos do transformador

Resistência de Isolação (MΩ)					
Tempo (min.)	Primário / massa	Secundário / Massa	Primário / Secundário	Temperatura interna	Limite mínimo
1	10,5	12	11	48,2°C	3
3	11	12,5	12	48,2°C	3
5	11	13	12	48,2°C	3

Fonte: Laudo elétrico do empreendimento hoteleiro (2015)

Conforme a tabela 1 os valores encontrados juntamente com o limite fornecido pelo fabricante dá um parecer que os enrolamentos estão em perfeito estado no que diz respeito à resistência de isolamento entre as bobinas e também para massa.

Pequenas irregularidades foram encontradas neste cubículo de transformação que inclusive foram prontamente regularizadas pela própria empresa que executava o serviço preventivo. A tampa superior que estava solta e passível a entrada de algum animal que possa interferir na operação normal do equipamento e também os cabos que entravam pela carcaça da blindagem sem nenhuma proteção isolante para evitar que a camada isolante do cabo viesse a ser danificada devido às vibrações normais do transformador.

Outra irregularidade encontrada foi à necessidade de ajustar o TAP do transformador para que a tensão do secundário estivesse nos padrões aceitáveis de fornecimento. A conclusão deste ajuste chegou-se devido à instalação em um período de três dias sequenciais de um analisador de energia elétrica. Na tabela 2 têm-se os valores encontrados de tensão em diferentes horários do dia.

Tabela 2 – Valores de tensão encontrados na medição de energia

Valores de tensão no secundário do Transformador (V)				
Data	Horário	Fase R	Fase S	Fase T
28/09/15	01:00	398	401	397
28/09/15	07:00	397	401	396
28/09/15	13:00	398	401	397
28/09/15	19:00	396	399	396
29/09/15	01:00	398	401	398
29/09/15	07:00	397	401	397
29/09/15	13:00	397	401	397
29/09/15	19:00	395	400	396
30/09/15	01:00	398	401	398
30/09/15	07:00	398	401	397
30/09/15	13:00	397	401	397
30/09/15	19:00	396	400	397

Fonte: Laudo elétrico do empreendimento hoteleiro (2015)

Foi percebido que a tensão de alimentação da rede de distribuição estava próxima de 12000 V, pois a subestação da distribuidora está a mais ou menos 500 m do empreendimento, por isso da necessidade do ajuste da tensão do primário do transformador.

5.4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA QGBT

Esta parte foi a que causou maior transtorno ao hotel, isto porque foi preciso ficar uma hora sem energia em todo o prédio. Dias antes de iniciar este

procedimento foi efetuada uma termovisão no QGBT e também nos quadros de baixa tensão que alimentavam cargas da cozinha industrial para através deste ensaio identificar pontos de fuga excessiva de corrente através do efeito joule, hora por folga nas conexões ou até mesmo por sobre correntes. Após este ensaio foi feito os reaperto das conexões e também trocados alguns terminais que estavam carbonizados. A figura 14 corresponde ao quadro elétrico da cozinha industrial do hotel com pontos de aquecimento de até 65,8°C.

Figura 14 – Termovisão quadro elétrico da cozinha



Fonte: Laudo elétrico do empreendimento hoteleiro (2015)

Outra informação importante diagnosticado quando foi feito a análise da qualidade da energia em um período de três dias foi o fator de potencia da instalação elétrica. Abaixo, na tabela 3 tem os valores encontrados em diferentes horários.

Tabela 3 – Valores do Fator de potência

Valores fator de potencia da instalação		
Data	Horário	Fator de potência
28/09/14	01:00	0,98
28/09/14	07:00	0,97
28/09/14	13:00	0,95
28/09/14	19:00	0,93
29/09/14	01:00	0,97
29/09/14	07:00	0,97
29/09/14	13:00	0,96
29/09/14	19:00	0,94
30/09/14	01:00	0,98
30/09/14	07:00	0,97
30/09/14	13:00	0,94
30/09/14	19:00	0,94

Fonte: Laudo elétrico do empreendimento hoteleiro (2015)

Diante das informações da tabela 3 chega-se a conclusão que a instalação não necessita de ajustes do fator de potência com banco de capacitores para compensação das cargas reativas indutivas, pois o menor valor encontrado nos diversos horários foi maior que 0,92 estando assim dentro das exigências da ANEEL através da REN 414 / 2010.

5.5 PLANO DE MANUTENÇÃO DA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA

Neste empreendimento hoteleiro foi efetuada um plano de manutenção pelo Gestor de manutenção que tinha como especialidade a Engenharia Elétrica e

no ato do planejamento para as instalações elétricas deste hotel foi definido as periodicidades da seguinte forma:

- Manutenções preventivas anualmente com limpeza geral, reaperto de todas as conexões elétricas, inspeção visual, ensaios com megômetro nos enrolamentos e aterramento dos transformadores de potência, medições do sistema de aterramento e Sistema de Proteção contra descargas Atmosférica (SPDA) e testes de funcionamento dos equipamentos de proteção e seletividade.
- Para manutenções preditivas foi definido semestralmente os ensaios termográficos na subestação de energia e principais quadros elétricos;
- No caso das manutenções corretivas, somente se necessitar de uma intervenção programada identificada através das manutenções preventivas ou preditivas.
- Também foi definido neste planejamento que a cada 6 anos serão efetuados ensaios de medição de contato no disjuntor e chave seccionadora do cubículo de proteção. Ambos os equipamentos utilizam o gás isolante hexafluoreto de enxofre (SF6) para extinção do arco voltaico e conforme manual destes equipamentos o fabricante recomenda esta periodicidade.

A tabela 4 mostra este planejamento mais detalhado, informando o tipo da manutenção, as atividades para cada manutenção, a periodicidade e a criticidade de cada serviço.

Tabela 4 – Plano de manutenção da subestação de energia.

PLANEJAMENTO MANUTENÇÕES NA SUBESTAÇÃO DE ENERGIA DE 400 KW			
TIPO DA MANUTENÇÃO	SERVIÇOS	PERIODICIDADE	CRITICIDADE
PREVENTIVA	Limpeza Geral	ANUAL	ALTA
	Reaperto de todas as conexões		
	Inspeção visual		
	Medição da resistência de isolamento do TRAFO		
	Medição da resistência de contato da seccionadora	A CADA 6 ANOS	ALTA
	Medição de resistência de contato de disjuntor		
PREDITIVA	Ensaio termográfico no TRAFO	SEMESTRAL	ALTA
	Ensaio termográfico nas conexões expostas		
	Ensaio termográfico no QGBT	ANUAL	ALTA
CORRETIVA	Somente programada no encontro de anormalidades encontradas nas manutenções preventivas e preditivas.		

Fonte: Elaborada pelo autor (2017)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo de caso foi fundamental para adquirir conhecimentos práticos após ter efetuado pesquisas bibliográficas teóricas apontadas durante o desenvolvimento desta monografia. Serviu para verificar presencialmente que pequenos problemas podem agravar e levar a uma pane elétrica temporária, por exemplo, a tampa do transformador solta que acabou deixando uma fresta estava passível a entrada de ratos e, conseqüentemente, fechar um curto circuito no equipamento.

Através dos ensaios utilizando instrumentos de medição foi possível coletar informações que possibilitou chegar a uma conclusão de problemas que afeta a instalação como um todo, foi o caso das tensões do secundário do transformador com valores acima da tensão adequada, ficando acima mais de 5 % da tensão nominal de 380 V. E ainda para valorizar esta informação o ajuste do TAP que abaixou a tensão no secundário exatamente para 380 V.

Outro ensaio que ajudou a encontrar anormalidade que não seria possível a olha nu foi a termovisão nos quadros de baixa tensão, que diagnosticou irregularidades de folga nas conexões e conseqüentemente carbonização nos terminais do quadro da cozinha.

No geral foi fundamental este estudo de caso para aprender na pratica parte dos assuntos efetuados na pesquisa bibliográfica.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enfim, este trabalho apresentou que a manutenção preventiva nas instalações elétricas lhe oferece confiabilidade no fornecimento de energia elétrica, além de manter o patrimônio no que se refere aos equipamentos de média tensão do empreendimento por um período geralmente mais longo que a vida útil estipulada pelos fabricantes. Chegou-se ao resultado desta conclusão após o acompanhamento in loco da manutenção preventiva da subestação de energia elétrica do Hotel Novotel, pois neste momento se percebeu que mesmo em uma instalação nova, com menos de um ano, existe anormalidades que pode prejudicar as instalações.

Neste trabalho conheceram-se mais profundamente as máquinas e equipamentos para este tipo de instalação elétrica, além dos equipamentos de medição e ensaios básicos para atestar o funcionamento dos mesmos.

Ao final, percebeu-se a necessidade destes procedimentos serem efetuados de forma periódica e sistêmica para o funcionamento adequado das instalações elétricas de um empreendimento e evitar assim problemas inesperados.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 414/2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedo/ren2010414.pdf>. Acessado em: 10 Fev. 2017.

BARROS, BENJAMIN FERREIRA DE; GEDRA, RICARDO LUIS. *Cabine Primária: Subestação de Alta Tensão de Consumidor*. 3. ed. São Paulo: Érica, 2011. 191 p.

ENSA TRANSFORMADORES. **Transformadores de potência**. São Jose do Rio Pardo, 2017. Disponível em: <http://www.ensatransformadores.com.br/produtos>. Acessado em: 15 Mar. 2017.

FILHO, JOÃO MAMEDE. *Instalações Elétricas Industriais*. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

INSTRONIC INSTRUMENTOS DE TESTES E ENSAIOS. **Instrumentos elétricos**. Osasco, 2017. Disponível em: <http://www.instronic.com.br/elétrica>. Acessado em: 10 Fev. 2017.

JORDÃO, RUBENS GUEDES. *Transformadores Elétricos*. 2. ed São Paulo: Blucher, 2008. 214 p

KAGAN, N.; ROBRA, J. E.; OLIVEIRA, C. E. L. de. *Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Eletrica*. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2010. 327 p.

OLIVEIRA, CARLOS DE OLIVEIRA; COGO, JOÃO ROBERTO; ABREU, JOSE POLICARPO G. de. *Transformadores: Teoria e ensaios*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2012. 173 p.

SCHNEIDER ELETRIC. **Painéis de média tensão**. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.schneider-eletric.com.br/pt/product-category/87897-paineis-de-media-tensao/>. Acessado em: 10 Set. 2017.