

# A influência dos fatores humanos nos indicadores de O&M das usinas termelétricas.

Maria Alice Morato Ribeiro <sup>(1)</sup> (e-mail: [mmorato@ipen.br](mailto:mmorato@ipen.br)) e Paulo Cesar Rocha Gomes <sup>(2)</sup> (e-mail: [paulogomes@utemanauara.com.br](mailto:paulogomes@utemanauara.com.br))

**Resumo**— Este trabalho tem como objetivo principal apontar a influência dos erros humanos na operação e manutenção de uma usina termelétrica de Manaus, Brasil. Foi realizada uma pesquisa de campo com abordagem de fatos ocorridos, durante os anos de 2009 e 2010, e que resultaram em perdas de horas de geração (econômicas) e desgaste do equipamento reduzindo a vida útil dos equipamentos. O fator erro humano tem uma grande influência na segurança dos equipamentos e nos impactos econômicos do empreendimento. Então um dos principais focos desta pesquisa visa permitir aos gerentes e supervisores identificar os pontos a serem melhorados na equipe com política que direcione para treinamentos internos e externos e que possa reduzir o número de falhas humanas em análises de problemas.

**Palavras Chaves**—Fatores Humanos, Confiabilidade de termelétricas, Disponibilidade, Melhores práticas.

## I. NOMENCLATURA

<i>AF</i>	<i>Availability Factor</i>
<i>AH</i>	Horas em disponibilidade
<i>CCC</i>	Conta de Consumo de Combustível
<i>CEM</i>	Companhia Energética Manauara
<i>FOF</i>	Fator de desligamento forçada
<i>FOH</i>	Horas em desligamento forçado
<i>FOR</i>	Taxa de saída forçada
<i>GAR</i>	Generating Availability Report
<i>GERA</i>	Geradora de Energia do Amazonas AS
<i>GN</i>	Gás Natural
<i>GTON</i>	Grupo Técnico Operacional da Região Norte
<i>IPRO</i>	Índice de produtividade
<i>LNT</i>	Levantamento de Necessidades de Treinamento
<i>MAMA</i>	<i>Maintenance Management</i>
<i>MBA</i>	<i>Master Business Administration</i>
<i>NERC</i>	<i>North American Electric Reliability Council</i>
<i>O&amp;M</i>	Operação e Manutenção
<i>OS</i>	Ordem de Serviço
<i>PAC</i>	Programa de Aceleração do Crescimento
<i>PAPO</i>	Plano de Aperfeiçoamento Profissional Orientado
<i>PH</i>	Horas do período
<i>PIE</i>	Produtores Independentes de Energia
<i>PMO</i>	Plano Mensal de Operação

<i>RAESA</i>	Rio Amazonas Energia SA
<i>RH</i>	Recursos humanos
<i>SF</i>	Fator de serviço
<i>SH</i>	Horas em serviço
<i>SIN</i>	Sistema Interligado Nacional
<i>SS</i>	Solicitação de Serviço
<i>T&amp;D</i>	Ações de Treinamento e Desenvolvimento
<i>TEP</i>	Termelétrica Potiguar S.A.
<i>UHE</i>	Usinas Hidroelétricas
<i>UTE</i>	Usinas Termelétricas

## II. INTRODUÇÃO

O erro humano tem tido uma importância fundamental nas análises econômico financeiras das corporações. Em virtude das estatísticas traçadas relativas a este assunto as empresas começam a se preocupar em desenvolver mudanças na metodologia de contratação dos recursos humanos que irá tocar o negocio da empresa e também numa política de treinamento eficaz que minimize ao máximo a ocorrência de erros em consequência das falhas de análise dos problemas que surgem inesperadamente (manutenções corretivas).

O principal objetivo é tentar identificar a influência do erro humano nas atividades cotidianas de operação numa determinada usina termelétrica do sistema isolado de Manaus. Através de dados levantados pelas ocorrências da usina teremos como iniciar um processo que no futuro pretende avaliar as implicações diretas da operação humana na vida útil dos equipamentos e prejuízos econômicos para o empreendimento.

Antes de definir erro humano é interessante que se defina o termo erro. Ferreira (1988) define erro, no senso comum, como: “Ato ou efeito de errar. Juízo falso; desacerto, engano. Incorreção, inexactidão”.

Muitos autores propuseram definições para o erro humano, entre eles pode-se citar a redução da eficácia, segurança ou do desempenho do sistema. Hollnagel [1] procurou definir o erro considerando aquelas ações humana que provocam consequências indesejáveis: “Uma ação errônea pode ser definida como uma ação que falha para produzir o resultado esperado e/ou que produz uma consequência indesejada”.

Pode-se caracterizar o termo erro humano de forma ligada ao conceito de confiabilidade no qual se insere este trabalho.

A confiabilidade de uma instalação é definida na norma IEEE Std 762-2006 [2] como a capacidade da unidade geradora realizar sua função pretendida. Como a termelétrica é um sistema reparável então o indicador mais utilizado para medir a confiabilidade é a disponibilidade.

Já a confiabilidade humana pode ser definida como sendo a probabilidade de que uma pessoa execute corretamente

<sup>(1)</sup>M. A. M. Ribeiro trabalha no IPEN-CNEN/SP – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Av. Lineu Prestes, 2252 – Cidade Universitária - São Paulo, Brasil CEP 05408-000(e-mail: [mmorato@ipen.br](mailto:mmorato@ipen.br) ou [malimorato@gmail.com](mailto:malimorato@gmail.com)).

<sup>(2)</sup>P. C. R. Gomes UTE Manauara Rod.AM010 Km-20 – CEP 60059-000 Zona Rural – Manaus – Amazonas – Brazil(e-mail:[paulogomes@utemanauara.com.br](mailto:paulogomes@utemanauara.com.br)). Este trabalho foi efetuado quando era aluno do curso de Gestão de Usinas Termelétrica MBA / USP IEE-USP.

alguma atividade exigida pelo sistema, dentro de um tempo requerido, e não realize nenhuma outra atividade que degrade o sistema. O estudo da confiabilidade humana é uma disciplina científica que envolve a aplicação sistemática de informações sobre as características humanas para melhorar o desempenho dos sistemas. Mas o que se pretende neste trabalho não é avaliar a confiabilidade humana, visto ser um estudo longo e detalhado, que exige uma quantidade de dados que não estão disponíveis na termelétrica em estudo, mas sim avaliar a influência dos fatores humanos na confiabilidade da termelétrica.

#### A. *Objetivo do trabalho*

Um dos principais problemas de geração do parque de Manaus é a deficiência técnica em mão de obra especializada. A maioria das empresas tem um custo alto de recursos humanos (RH), pois tem que trazer profissionais de outras partes do país para compor seu quadro gerencial de Operação e Manutenção (O&M). Uma das principais necessidades de profissionais em usinas termelétricas é na área de instrumentação e automação, e não existe no estado do Amazonas nenhuma entidade que forme instrumentistas ou que ministre cursos direcionados para estas duas áreas. Por outro lado os profissionais de RH também têm sua parcela de culpa por contratar profissionais sem base teórica para estarem aprendendo e absorvendo conhecimento na área de termodinâmica, mecânica e elétrica voltada para tais usinas. Geralmente quando uma usina escolhe que tipo de tecnologia vai ser instalada, se turbinas ou motores, ela inclui em seu orçamento um curso básico de 1 semana de operação e 1 semana de manutenção para seu corpo de O&M e daí em diante cada empresa tem que se preparar para operar e manter o site. Isto tem causado vários transtornos e prejuízos que muitas vezes são encobertos e não mostram com clareza que foram causados por falha humana. É necessário que se inicie pesquisas neste âmbito e que acima de tudo se desenvolva um plano de treinamento eficaz que reduza ou elimine esta variável de risco.

Assim, o principal objetivo deste trabalho é tentar identificar a influência do erro humano nas atividades cotidianas de operação numa determinada usina termelétrica do sistema isolado de Manaus. Através de dados levantados pelas ocorrências da usina teremos como iniciar um processo que no futuro pretende avaliar as implicações diretas da operação humana na vida útil dos equipamentos e prejuízos econômicos para o empreendimento.

### III. CENÁRIO DAS TERMELÉTRICAS DE MANAUS

Os Sistemas Isolados Brasileiros, predominantemente térmicos e majoritariamente localizados e dispersos na Região Norte, atendem a uma área de 45% do território e a cerca de 3% da população nacional, ou seja, aproximadamente atende mais de 3milhoes (incluindo Acre, Rondônia e Amazonas). Os Sistemas Isolados estão localizados nas capitais da Região Norte (exceto Belém) e no interior dos estados dessa região. Estes últimos caracterizam-se basicamente pelo grande número de pequenas unidades geradoras a óleo diesel e pela grande dificuldade de logística de abastecimento.

Em função da diversidade de metodologias relacionadas à utilização de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica nas empresas dos Sistemas Isolados, foi criada na 29<sup>a</sup> Reunião do GTON (Grupo Técnico Operacional da Região Norte), uma força-tarefa formada por

técnicos dos produtores de energia do Sistema Isolado, que elaborou o "Manual de Recebimento, Armazenagem, Manuseio e Qualidade de Produtos derivados de Petróleo em Usinas Térmicas" que constitui uma ferramenta primordial para a operação de parques térmicos com combustíveis derivados de petróleo, bem como para prevenção de acidentes pessoais e ambientais.

Manaus opera no sistema chamado de isolado, por não fazer parte do Sistema Interligado Nacional (SIN). Manaus só possui uma usina hidroelétrica, Balbina, a qual representa no máximo 15% da geração [3], pois dos 250MW previstos para geração, na realidade ela gera a média anual de 120MW. Assim, todo o restante de seu parque de geração elétrica é composto por usinas termelétricas. As térmicas de Manaus operam na base 365 dias, 24 horas. Atualmente temos 17 térmicas operando no sistema de Manaus.

Manaus tem atualmente 1642 MW disponíveis [3]. As usinas termelétricas de Manaus têm o combustível subsidiado pela Eletrobrás através de uma conta chamada de CCC – ISOL (Conta de Combustível para o sistema isolado) e operam por contrato de disponibilidade. A maioria destas termelétricas pertence a Eletrobrás Amazonas Energia enquanto que as privadas chamadas de PIE – Produtores Independentes de Energia são apenas 5 (GERA, CEM, RAESA, Breitener Tambaqui e Breitener Jaraqui) representando 25,09% de toda capacidade instalada de geração de Manaus. Estas empresas tiveram seu início operacional entre Setembro de 2006 e Junho de 2007, fornecendo mais conforto para o sistema de Manaus, pois a maioria das usinas até então existentes tinham mais de 10 anos em operação.

A matriz energética de Manaus está gradualmente substituindo o óleo pelo gás natural que é transportado através de gasoduto Urucu– Coari – Manaus. O comissionamento das unidades convertidas dos PIE e Amazonas Energia está com previsão para iniciar em 01/2010 e finalizar em 11/2011 entrando em operação comercial com gás natural (GN) a partir de 01/12/2011. Isto visa reduzir a conta da CCC e também diminuir o nível das emissões atmosféricas com a diminuição da queima de combustíveis fósseis líquidos mais poluentes que o gás natural.

Toda a distribuição de energia é realizada pela Eletrobrás Amazonas Energia. Atualmente a empresa está investindo na modernização de seu parque de distribuição com troca de postes, cabos, transformadores e sistemas de proteção (incluídos no Plano de Aceleração do Crescimento – PAC).

#### A. *Complexo termelétrico da Manaus Energia*

O complexo termelétrico Eletrobrás Amazonas Energia S.A. consiste de dois grupos de usinas localizadas no município de Manaus os quais foram se ampliando ao longo dos anos e atualmente têm a composição descrita na Tabela 1 juntamente com as demais térmicas da cidade. A Tabela 1 foi obtida no site da Eletrobrás na seção de sistemas isolados do PMO – Plano Mensal de Operação [3].

O estudo ora apresentado foi realizado junto à Companhia Energética Manauara, que compreende o ambiente organizacional formado por uma usina termelétrica situada em Manaus, Estado do Amazonas, e localizada às margens da Rodovia AM-010, no km 20. Com base nas premissas de geração de energia para fazer face à precariedade de sustentabilidade do parque energético brasileiro, a empresa originou-se da intenção de contribuir

para um crescimento ordenado e constante na região amazônica, rica em recursos, porém com problemas geográficos que dificultam a logística de determinados serviços, particularmente no que diz respeito à conexão energética com o sistema nacional, pois a cidade de Manaus não tem acesso ao SIN- Sistema Interligado Nacional pertencendo a um sistema isolado. Existe atualmente projeto para interligação do sistema isolado ao SIN previsto para término de implantação no ano de 2013 e neste projeto pretende-se interligar o sistema isolado de Manaus com a usina hidroelétrica de Tucuruí.

localização de algumas usinas de Manaus.

TABELA I

Dados das Usinas Termelétricas (UTE) e Hidroelétricas (UHE) de Manaus.

Usinas	Equipamentos	Potência (MW)	Ciclo	Início Operação	No. empregados	% Geração Sist Isolado
UHE BALBINA	TURBINAS	250				15%
UTE TAMBAQUI	MOTORES	80	Simplex	2006	62	5%
UTE JARAQUI	MOTORES	80.8	Simplex	2006	44	5%
UTE RAESA	MOTORES	83.5	Simplex	2007	28	5%
UTE CEM	MOTORES	85.4	Simplex	2006	32	5%
UTE GERA	MOTORES	82.4	Simplex	2006	28	5%
UTE MAUÁ BI IV	MOTORES	157.5	Simplex	1999		10%
UTE MAUÁ BI I	TURBINAS	136	Simplex	1973		8%
UTE APARECIDA BI II	TURBINAS	80	Simplex	1999	16	5%
UTE APARECIDA BI I	TURBINAS	92	Simplex			6%
UTE CIDADE NOVA	MOTORES	15.4	Simplex			1%
UTE FLORES	MOTORES	92.6	Simplex			6%
UTE SÃO JOSÉ	MOTORES	36.4	Simplex			2%
UTE MAUÁ BI III	TURBINAS	110	Simplex			7%
UTE MAUÁ BI II	TURBINAS	40	Simplex			2%
UTE ELECTRON	TURBINAS	120	Simplex	1973		7%
UTE MAUÁ BI 5	MOTORES	60	Simplex			4%
UTE ELECTRON EXPANSÃO	MOTORES	40	Simplex			2%
<b>TOTAL</b>		<b>1642</b>				<b>100%</b>

Notas: BI: bloco; CEM-Cia Energética Manauara.

A Companhia Energética Manauara (CEM) – denominação que passa a ser adotada daqui por diante – pertence ao conglomerado Grupo Global em sociedade com a Petrobrás, que possui diversos empreendimentos em áreas de infraestrutura, energia, mineração e agropecuária, segmentos tidos como essenciais para o desenvolvimento de uma economia moderna e dinâmica, nos moldes do que se pretende no panorama brasileiro.

Os acionistas, a partir de 2001, resolveram ingressar no setor elétrico do sistema isolado, como empresa produtora independente de energia elétrica. Seu primeiro empreendimento nesse segmento foi a Termelétrica Potiguar S.A. (TEP), em parceria firmada entre a Global Participação (controladora das empresas da área de energia do grupo) e a Petrobras Distribuidora S.A. a partir de então, dedica-se a projetos nesse setor, ampliando de forma magistral sua participação no mercado de fornecimento de energia elétrica.

Para que se possa ter uma ideia da localização das usinas no sistema Isolado apresenta-se a seguir a Figura 1 com a



Fig. 1. Localização de algumas Usinas no sistema elétrico de Manaus.

A UTE Manauara gera energia elétrica em corrente alternada, na frequência de 60 Hz, 13,8 kV, que é elevada para 69 kV num transformador elevador, e a energia é transmitida para a subestação Cidade Nova, de propriedade da empresa Amazonas Energia, distribuidora local responsável pelo abastecimento global da cidade de Manaus.

A usina foi originalmente construída para utilizar óleo combustível na geração de energia, porém, com o advento do gasoduto instalado pela Petrobras, que interliga Manaus ao poço de Urucum, a partir de novembro de 2010 passará a utilizar o gás natural como fonte combustível. Como resultado, novas competências passarão a ser exigidas dos seus colaboradores. Na Figura 2 abaixo podemos ter uma vista aérea da UTE Manauara e na Figura 3 uma vista aérea da subestação de Cidade Nova que é o ponto de entrega da UTE Manauara.

A empresa Wartsila forneceu os motores utilizados na UTE Manauara e, além disso, também é contratada para realizar a operação e manutenção (O&M) da UTE.



Fig. 2. Vista aérea da UTE Manauara.



Fig. 3. Vista aérea da subestação Cidade Nova

#### IV. APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ERRO NA UTE MANAUARA

As necessidades de capacitação e treinamento da UTE Manauara são definidas por meio de reuniões entre a área de treinamento e gestão da Wartsila, e os gestores da UTE Manauara.

A Matriz de Competências Profissionais é o instrumento utilizado para padronizar tanto o processo de Levantamento de Necessidades de Treinamento (LNT) quanto os critérios para seleção de participantes em ações de Treinamento e Desenvolvimento (T&D). As matrizes são estruturadas por sub-processos (ex.: financeiro, operacional), onde os colaboradores têm suas habilidades definidas de acordo com as competências organizacionais. Essas habilidades são estratificadas em grupos de conhecimentos que permitem a priorização baseada no grau de importância da habilidade para o processo.

Após a contratação ocorre o processo de treinamento e capacitação, que é desenvolvido em quatro etapas: Diagnóstico (levantamento de necessidades); Planejamento (priorização de ações, treinamentos e viabilização de recursos necessários para a capacitação); Execução (capacitação dos colaboradores, realizada por meio de treinamento externo ou interno, com ênfase na multiplicação de conhecimento interna, de modo a permitir melhor aproveitamento dos recursos financeiros e valorização dos colaboradores); e Avaliação (etapa que permite coletar informações para melhoria do processo).

A educação e capacitação dos colaboradores são efetuadas por meio de treinamentos presenciais, por videoconferência e a distância (via *on-line*), seminários, congressos e outros, definidos no planejamento anual e acompanhados por meio das matrizes funcionais e da Matriz de Competências. A Wartsila possui centros de treinamentos no exterior e periodicamente treina seus colaboradores na Finlândia e em Fort Lauderdale na Florida (EUA). Alguns colaboradores da CEM (Companhia Energética Manauara) também já participaram de alguns cursos de operação e manutenção.

No processo de treinamento e capacitação de novos colaboradores destaca-se a fase de ambientação, etapa em que todos participam de ações de treinamento que têm por objetivo a integração e apresentação da empresa (estrutura organizacional, principais processos, documentos de circulação interna e externa, rotinas e outras informações

importantes). Os casos específicos referem-se aos cargos de operadores, que passam por treinamentos de longa duração para capacitação e adequação dos conhecimentos às realidades das instalações da empresa (in loco).

Para que as lideranças possam atuar desempenhando seus papéis de facilitadores, negociadores, motivadores, harmonizadores, integradores, formadores de opinião, cultivadores de valores e, principalmente, líderes de pessoas, anualmente a UTE Manauara e a Wartsila investem em ações de treinamento para o aperfeiçoamento gerencial e desenvolvimento de equipes voltadas para a atualização em práticas de gestão modernas, incentivando participações desses líderes em Mestrados, MBA e Cursos de Pós-Graduações.

Os dados resultantes de avaliações (treinamento, clima e desempenho) contribuem diretamente para a atualização das matrizes funcionais e elaboração dos modelos de matrizes de competências profissionais. A pesquisa sobre clima organizacional também é um instrumento utilizado para medir a satisfação dos colaboradores com os fatores treinamento e liderança. Os resultados dessa pesquisa favorecem a elaboração de plano de ação para melhorias do treinamento e esse plano é acompanhado periodicamente pelos líderes.

##### A. Funcionários da UTE Manauara

O total de empregados próprios das equipes é de 26 pessoas, sendo 21 sob a responsabilidade da Gerência de Operação e Manutenção (O&M) da Wartsila e 4 da área de Gerência de supervisão de contrato, colaboradores da própria CEM (Companhia Energética Manauara).

Quanto ao gênero, temos uma predominância do gênero masculino, com 91,30%, (21) contra 8,70% (2) do gênero feminino (Figura 4). Tal ocorrência é justificável pelo fato de a grande maioria dos colaboradores que atuam no segmento operacional serem do gênero masculino, enquanto que os colaboradores do gênero feminino situam-se de forma mais concentrada em “áreas meios” (administrativa e financeira).

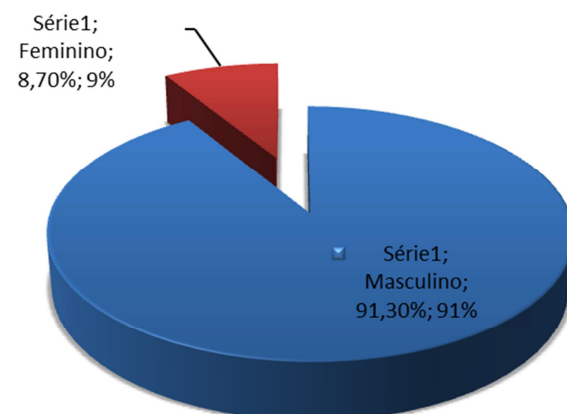


Fig. 4. Distribuição dos colaboradores por gênero.

Quanto à faixa etária, existe uma relativa uniformidade na distribuição, destacando-se um menor número de colaboradores com idade inferior a 25 anos (17,39%), e no outro extremo a faixa maior de colaboradores participantes constituída pela faixa etária compreendida entre 26 a 50

anos, com 78,26% (Figura 5).

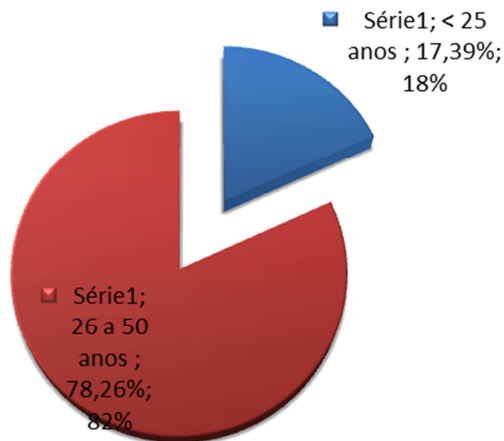


Fig. 5. Distribuição dos colaboradores por faixa etária.

Quanto ao tempo de empresa, destaca-se a característica bipolar relativa à política de contratação da empresa. 13,05% dos participantes possuem menos de 1 ano de contrato; enquanto que 43,47% possuem mais de 3 anos; entre os períodos intermediários, 34,78% possuem tempo de contrato entre 1 a 2 anos; enquanto que 8,70% situam-se entre 2 a 3 anos. Ressalte-se que a UTE Manauara foi oficialmente criada e ativada em 2006, o que justifica a análise pertinente a períodos relativamente curtos de contratação (Figura 6).

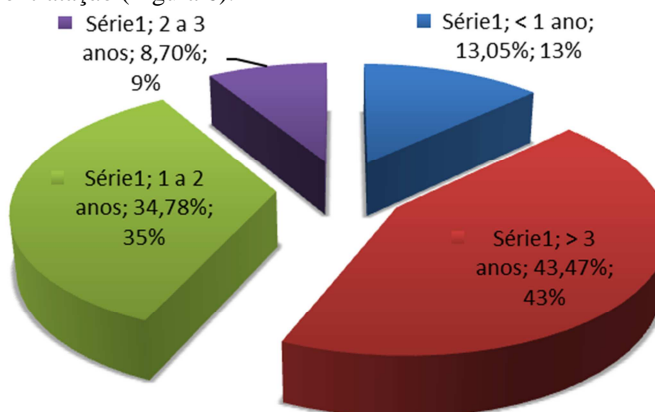


Fig. 6. Distribuição dos colaboradores por tempo na empresa.

Quanto à escolaridade, 56,53% da seleção amostral possui formação em nível superior, enquanto que apenas 43,47% possuem nível médio. (Figura 7). Apesar de mais de 50% do quadro funcional técnico possuir nível superior isto não nos garante uma boa qualificação de mão de obra para o negócio fim que é geração de energia. Menos de 20% destes possuem cursos de formação na área de engenharia elétrica, mecânica, mecatrônica, etc.(aqui denominados de área 1). Os demais são formados em contabilidade, administração, pedagogia e outros cursos similares. Esta formação, mesmo sendo de nível superior, não os capacita para o entendimento de como funcionam os ciclos térmicos e suas particularidades, enquanto que aqueles que têm formação em cursos de área 1 possuem bases fortificadas sobre estas matérias. Nestes casos o esforço de treinamento para estes

colaboradores tem que ser dobrado.

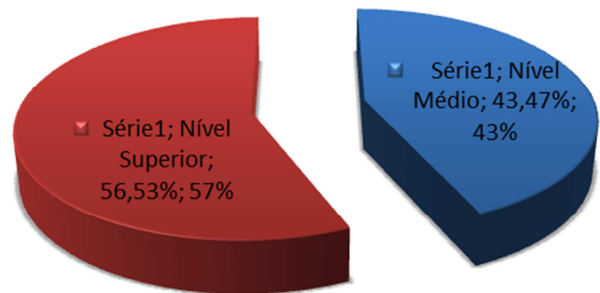


Fig. 7. Distribuição dos colaboradores por nível de escolaridade.

Como neste trabalho estamos estudando os efeitos do erro humano diretamente ligado a geração de energia, então não foi contemplado o pessoal dos departamentos administrativo/ financeiro e de apoio, mas somente o pessoal técnico envolvido na operação e manutenção.

#### B. A geração elétrica da UTE Manauara

A UTE Manauara gera praticamente na base devido às características do sistema isolado de Manaus

A seguir apresenta-se a Tabela II, a qual mostra valores de geração do mês de outubro e o acumulado em 2010. A energia bruta é a medida nos bornes do gerador, ou seja, sem computar nenhum consumo interno da planta. A energia líquida é a energia obtida após todos os consumos internos da planta e a recebida em Cidade Nova é a energia faturada após as perdas na linha de transmissão (que chega a cerca de 2%).

TABELA II  
INDICADORES DE GERAÇÃO DA UTE MANAUARA.

EQUIPAMENTO	UNIDADE	GERAÇÃO OUTUBRO 2010	GERAÇÃO ACUMULADA EM 2010
Produção de Energia Bruta	MWh	46 030,08	442 133,15
Produção de Energia Líquida	MWh	45 343,60	436 129,40
Energia Recebida SE Cidade Nova	MWh	44 532,24	428 446,62
Disponibilidade Contratual	MWh	100	99,87

A Tabela III apresenta o número de horas de operação dos principais equipamentos da usina para o acumulado até outubro de 2010 (desde o início da operação da UTE em setembro de 2006). Deve ser observado que a unidade opera com 4 motores e mais um reserva.

TABELA III  
INDICADOR HORAS DE OPERAÇÃO.

EQUIPAMENTO	UNIDADE	ACUMULADO (OUT 2010)
Motor #1	h	29980
Motor #2	h	28818
Motor #3	h	28621
Motor #4	h	23389
Motor #5	h	30338

Starting Compressor #1	Air	h	3080
Starting Compressor #2	Air	h	2998
Control Compressor #1	Air	h	22992
Control Compressor #2	Air	h	14357
Black Start Unit		h	25

## V. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS NA UTE MANAUARA

Os dados desta pesquisa foram obtidos a partir de bancos de dados da empresa ao qual tais dados são inseridos ou alimentados pelos próprios colaboradores do O&M. Estes bancos de dados foram formados a partir de informações obtidas quando surge um problema. No momento em que o problema surge, o operador da sala de controle é responsável de relatar no log book todos os eventos que ocorreram em seu turno de trabalho. Para cada problema que surge o mesmo abre uma solicitação de serviço (SS) que depois se transforma numa OS (ordem de serviço). Nesta OS constam a causa e a solução encontrada para o problema. Ao final de cada mês todas as OS passam a fazer parte de uma planilha e assim são analisadas tanto a repetibilidade dos problemas como a verificação se os mesmos foram causados por erro humano ou não, e depois são definidas quais ações serão tomadas para evitar que os mesmos voltem a ocorrer. Na Figura 8 é apresentado um fluxograma de como é determinado se o erro foi humano ou não. Os dados no log book ficam disponíveis por 10 anos e no sistema de banco de dados durante 5 anos.

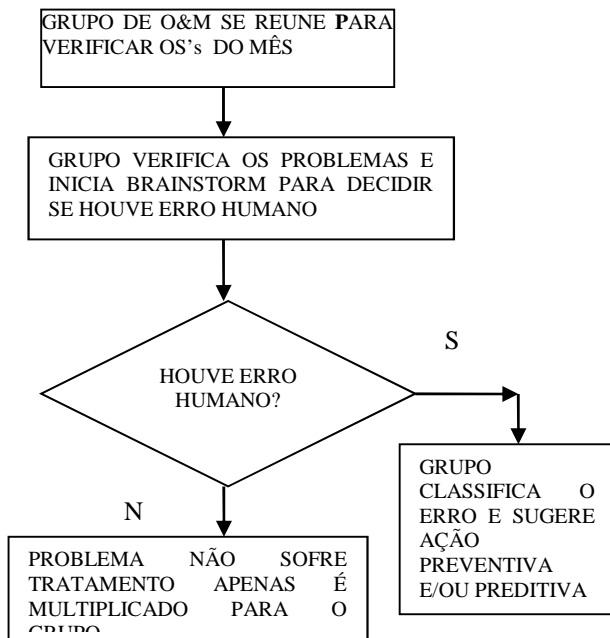


Fig. 8. Fluxograma de Classificação dos erros

A partir desta planilha efetuou-se uma avaliação para cada erro se este era causado ou não por falha humana. E neste caso foi descrita a causa do mesmo.

As OS são registradas num software chamado (*Maintenance Management*) gerenciamento de manutenção (MAMA). Não existe nenhuma entrada ou conexão automática entre o sistema de controle da planta e o

software de manutenção. Todo o dado histórico fica armazenado no MAMA e pode ser consultado a qualquer momento.

As análises das falhas são vistas pelo supervisor e gerente de O&M juntamente com a equipe dos colaboradores em que aconteceu o fato. Logo após o resultado é difundido para as outras turmas na reunião geral mensal do grupo de O&M. A análise para definir se foi erro humano ou não é feita utilizando o critério de *brainstorm* junto com análise de instruções operacionais do próprio manual do fabricante. A cada falha apresentada existe mensalmente um fórum de reuniões para decidir se os colaboradores devem ser treinados ou se a instrução operacional deve ser revista. Ficou evidenciado que uma parte dos problemas acontece nos horários de troca de turno o que nos leva a recomendar como sugestão a elaboração de um procedimento de troca de turno que seja mais eficaz, como por exemplo, o travamento e liberação das estações de operação a cada troca de turno pelo supervisor de cada turma.

Não pôde se evidenciar e associar, pelo intervalo estudado, que os problemas de erro humano poderiam ter sido causados por fadiga ou cansaço devido ao horário. Os problemas estão muito bem distribuídos em diversos horários diferentes. Igualmente, os turnos de revezamento são de 6 horas o que por si só já minimiza tal efeito. Vários problemas são observados também pela supervisão e relatórios do cliente. Já tivemos situações reais da usina ter saído de sincronismo, devido a variações bruscas de frequência, e nenhum operador da contratada daquela turma, saber tirar a usina da condição de “ilha”. Certa vez tivemos um problema com um operador que estava colocando potencia reativa demais no sistema e quando indagado sobre o porquê estava realizando tal ação o mesmo apenas informou que estava inserindo potencia reativa no sistema porque o operador do sistema solicitou. O mesmo sequer sabia como descrever o que significava potencia ativa, potencia reativa, curva de capacidade do gerador, etc. Todas estas informações são passadas para o fornecedor tomar as providências cabíveis.

### A. Cálculo dos fatores de desempenho da UTE Manauara

A seguir apresentam-se cálculos dos fatores de desempenho da UTE Manauara com a finalidade de avaliar o impacto dos fatores humanos nestes indicadores.

#### Cálculo do fator de disponibilidade da UTE Manauara

Com o objetivo de avaliar a influência dos fatores humanos no desempenho da termelétrica foi efetuado inicialmente o cálculo da disponibilidade. Para a determinação do *Availability Factor* (AF) ou fator de disponibilidade foi utilizada a norma IEEE 762-2006 [2], definido, para cada motor gerador, como:

$$AF = \left( \frac{AH}{PH} \right) * 100$$

Onde:  
 AH= horas em que o motor encontra-se disponível  
 PH= horas do período considerado, p. ex. para mês com 30 dias PH=720h

Para a termelétrica toda, considerando todos os motores geradores de energia temos que:

$$AF = \left( \frac{\sum_{i=1}^n AH_i}{\sum_{i=1}^n PH_i} \right) * 100$$

Onde:

AH<sub>i</sub>= horas em que o motor “i” encontra-se disponível

PH<sub>i</sub>= horas do período considerado, p. ex. para mês com 30 dias PH=720h

Note-se que a disponibilidade é função das horas em que a UTE está disponível, as quais são as horas do período subtraídas das horas de paradas forçadas e das horas de manutenção preventiva.

A manutenção preventiva da UTE Manauara é comandada pela manutenção preventiva dos grandes equipamentos, que são os motores geradores. A manutenção preventiva destes motores é definida pelo fabricante Wartsila e consiste de paradas preventivas conforme apresentado na Tabela 4.

TABELA IV

DADOS DE MANUTENÇÃO DOS MOTORES CONFORME DEFINIDO PELA WARTSILA

Tipo	Horas de Operação	Tempo de Parada [horas]
Intervalo 2000h	2.000	8
Intervalo 3000h	3000	8
Intervalo 4000h	4000	12
Intervalo 18000h	18000	120
Intervalo 24000h	24000	600

Os valores das horas disponíveis para cada motor foram então levantados mensalmente desde setembro de 2006 até março de 2010 e os valores do fator de disponibilidade para cada motor e para a UTE foram calculados e apresentados na Figura 9.

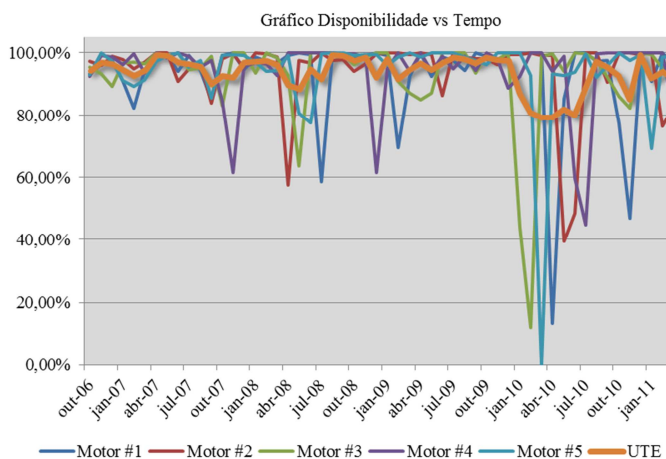


Fig. 9. Gráfico da Disponibilidade dos motores e de toda a UTE Manauara entre outubro /2006 e março/2011.

Podemos observar o fator de disponibilidade da UTE é alto porque a planta possui uma máquina reserva que corresponde a 25% do seu contrato de disponibilidade.

Na Figura 10 é apresentado um gráfico de disponibilidade ao longo do tempo com base nos cálculos realizados com a norma IEEE-762-2006.

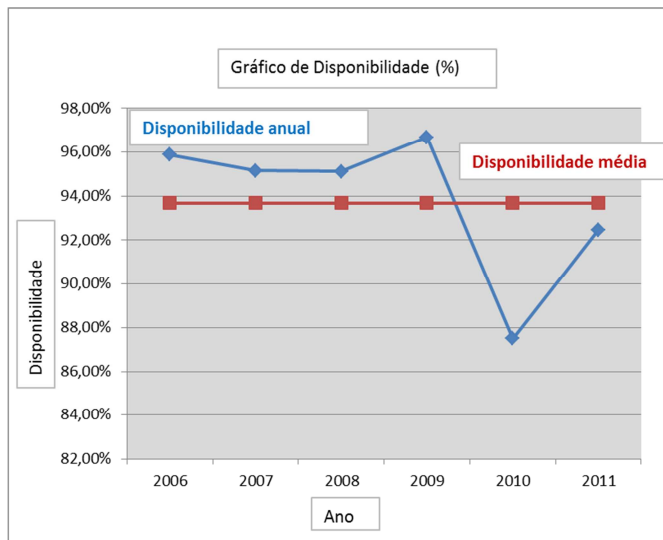


Fig. 10. Gráfico da Disponibilidade dos motores e de toda a UTE Manauara entre outubro /2006 e março/2011.

É importante observar que no ano de 2010 foi efetuada a conversão dos motores para possibilitar o uso de gás natural e por isso também diminuiu a disponibilidade. Cálculo do fator de serviço para a UTE Manauara

A seguir apresenta-se a fórmula para cálculo do fator de serviço ou *Service Factor* (SF), baseado na norma IEEE-762-2006, para um conjunto de unidades geradoras, que nos dá a taxa de serviço destas unidades.

Assim:

$$SF = \left( \frac{\sum_{i=1}^n SH_i}{\sum_{i=1}^n PH_i} \right) * 100$$

Onde:

SH= Horas em serviço. O número de horas que uma unidade estaria em serviço (a unidade opera sincronizada ao sistema).

Para que fosse possível calcular o indicador SF, foi necessário obter o valor de SH a partir das planilhas operacionais da UTE. Note-se que sempre uma máquina está parada, pois das 5 máquinas existentes apenas 4 são necessárias para operação da UTE, e considerando que ocorre revezamento de operação para todas as máquinas, então a Tabela V apresenta os valores de SH e PH considerando o período de Janeiro de 2009 até abril de 2010.

TABELA V

HORAS DE OPERAÇÃO PARA CADA MOTOR DA UTE MANAUARA

Unidade geradora	SH	PH
1	9.808	11680
2	9.206	11680
3	8.263	11680
4	7.849	11680
5	9.466	11680

Calculando o SF para a UTE temos:

$$SF = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (9808 + 9206 + 8263 + 7849 + 9466)}{\sum_{i=1}^n (11680 + 11680 + 11680 + 11680 + 11680)} \right) * 100 = 76,36\%$$

Cálculo da taxa de desligamento forçado para a UTE Manauara

A seguir calcula-se a taxa de desligamento forçado ou “*Forced Outage Factor*” (FOF) conforme a norma IEEE-762-2006. Esta taxa de desligamento indica a percentagem de horas dos desligamentos forçados em relação à soma das horas do período:

$$FOF = \left( \frac{FOH}{PH} \right) * 100$$

Onde:

FOH= O número de horas que a unidade estaria em uma interrupção não programada Classe 0,1,2, e 3. Ou seja, qualquer intervalo de tempo em que ocorra qualquer tipo de desligamento não programado, exceto o desligamento de Manutenção (Classe 4). A sigla advém do inglês *Forced Outage Hours*.

PH=É o número de horas do período.

Para um conjunto de unidades geradoras a IEEE-762-2006 define FOR como:

$$FOF = \left( \frac{\sum_{i=1}^n FOH_i}{\sum_{i=1}^n PH_i} \right) * 100$$

Onde:

FOH<sub>i</sub> =FOH para cada motor gerador i

PH<sub>i</sub>=É o número de horas do período para cada unidade.

O cálculo de FOF para a UTE foi efetuado, conforme segue, obtendo-se os valores de FOH a partir da Tabela 4 que considera o período entre janeiro de 2009 e abril de 2010. Neste intervalo as horas do período para cada unidade somam 11640h e o número de horas de desligamento total da unidade foi de 67h, assim:

$$FOF = \left( \frac{67}{11640 * 4} \right) * 100 = 0,144\%$$

Depois foi calculado o FOF considerando apenas os casos em que ocorreram falhas ligadas a erros humanos:

$$FOF_{ERROS\_HUMANOS} = \left( \frac{23}{11640 * 4} \right) * 100 = 0,049\%$$

### B. Cálculo do indicado de produtividade da UTE Manauara

O índice de produtividade (IPro) da usina que é dado através da equação MWh/número de colaboradores/ano.

$$IPro = \frac{Geração\_anual(MW)}{número\_colaboradores\_no\_ano}$$

Os valores de geração anual foram obtidos a partir das planilhas de operação e estão apresentados na Figura 11.

O número de colaboradores utilizado neste cálculo refere-se somente aos colaboradores de O&M. Vale ressaltar que nos períodos em que colaboradores saem de férias ou em licença a empresa responsável (Wartsila) fornece mão de obra substituta. Assim o número de colaboradores tem

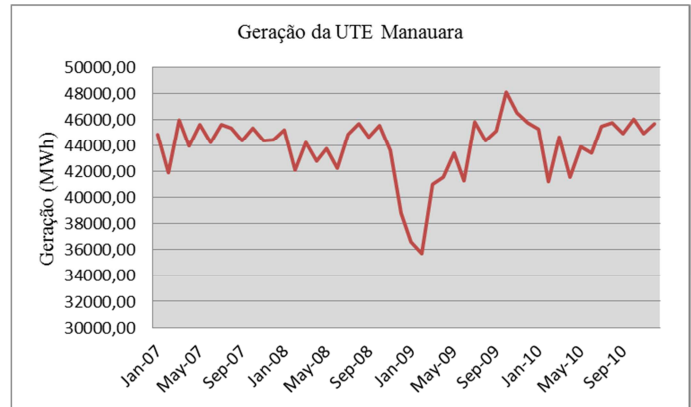


Fig. 11. Geração da UTE Manauara entre 2007 e 2010.

permanecido constante desde o início das operações da termelétrica.

Isto nos dá o seguinte resultado:

Índice de Produtividade (2007-201)= 2107428,04 / 32= 16464,28 MW anual/colaborador

Os valores entre 2007 e 2010 foram colocados em gráfico e apresentados na Figura 12.

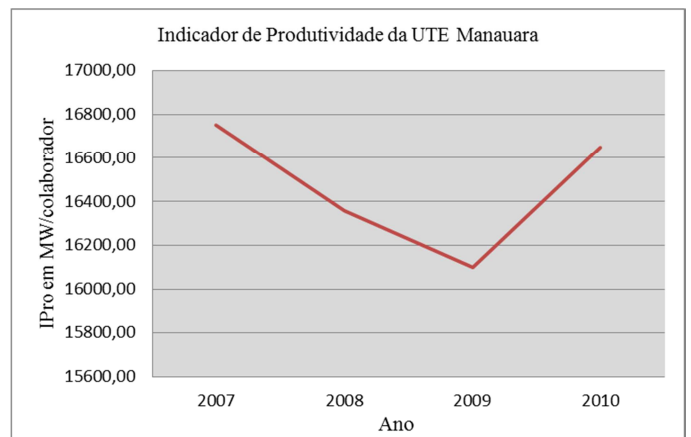


Fig. 12. Indicador de Produtividade entre 2007 e 2010.

Este indicador pode ser utilizado para avaliar metas de produtividade de pessoal da usina.

### C. Análise dos indicadores da UTE Manauara

As termelétricas operadas com motores em ciclo aberto são geralmente utilizadas para complementação do sistema e não para geração na base. O valor do fator de serviço para a UTE Manauara (SF) é alto se comparado com termelétricas em ciclo aberto (turbinas) operando no resto do mundo e mesmo com as que operam no Brasil no sistema interligado. Na realidade esta é uma situação que ocorre só mesmo no sistema isolado brasileiro em função da falta de infraestrutura de transmissão para esta região, que depende única e exclusivamente da geração local predominantemente termelétrica. Os fatores de serviço mundiais para termelétricas operando em ciclo aberto, como por exemplo, as termelétricas com turbinas em ciclo aberto, são da ordem de 2%, tal qual relatado pelo NERC no relatório GAR 2004-2008, enquanto a UTE Manauara opera com fatores de serviço da ordem de 76%.

O cálculo dos indicadores também mostrou que a taxa de desligamento das unidades geradoras por problemas inesperados, ou seja, manutenções não programadas são baixas quando se compara, por exemplo, o indicador FOF para turbinas a gás, com 20-49MW, operando em ciclo

aberto, cujo valor apresentado no relatório GAR 2004-2008 pelo NERC - North American Electric Reliability Council (2009) está na faixa de aproximadamente 3,49%, e o valor da UTE Manauara é de 0,14%. Mas note-se que a idade das turbinas a gás analisadas no NERC, cuja idade média é de 37anos. Mas o número de ocorrências nas quais o erro humano é um dos causadores é alto, pois representa mais de 1/3 do total de ocorrências. A disponibilidade da UTE Manauara foi calculada em média 93,68% (período entre setembro de 2006 e março 2011), valor este que quando comparado com a disponibilidade de 92,63% para termelétricas operando com turbinas a gás em ciclo aberto (20-49MW), conforme GAR 2004-2008 do NERC reflete um valor razoavelmente compatível. Isto provavelmente porque o indicador foi calculado para um intervalo de tempo grande o suficiente para contemplar as principais manutenções pelas quais os motores geradores devem passar (conforme cronograma de horas de operação apresentado na Tabela 5).

Podemos observar através dos estudos realizados com o período em questão que dos 65 erros relatados 23 foram devido à falha humana (Figura 13).

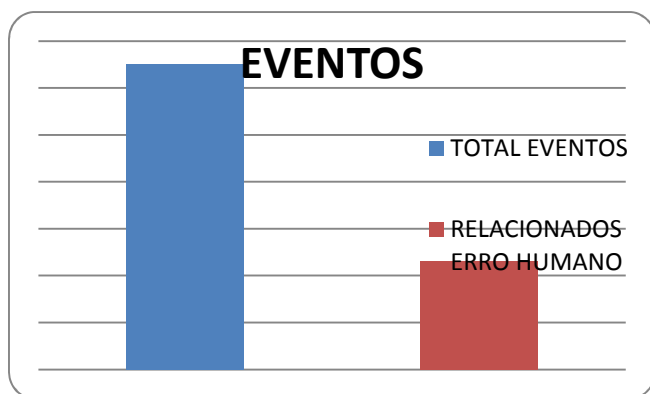


Fig. 13. Gráfico de número de eventos 2009 à ABRIL 2010.

Na figura 14 podem-se verificar as principais ocorrências relatadas no período estudado.

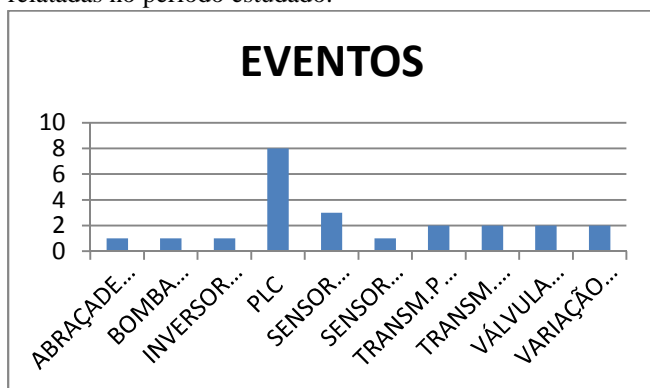


Fig. 14. Gráfico de número de eventos por equipamento de 2009 à ABRIL 2010.

Isto não significa dizer que todos os outros não têm relação, mesmo que indireta, com fatores de erro humano. Outro ponto que traz vulnerabilidade ao tema estudado é a incessante busca de culpados quando se relaciona erro humano a prejuízo econômico financeiro ou acidente pessoal/ambiental. Outro ponto relevante da UTE Manauara é que o contrato de 60 MW feito com a Eletrobrás Amazonas Energia é muito confortável por a mesma ter uma

máquina reserva que equivale a 25% da geração, ou seja, das 5 máquinas existentes com potência de 17.04MW só 4 funcionam para atender ao contrato. Sempre há uma máquina reserva pronta para entrar. Isto vem a mascarar os dados reais de confiabilidade do sistema. Quanto à situação de perda de geração por *derating* (taxa de redução da capacidade) esta não chega a ser avaliada por que a cada 24.000 horas o *derating* é de 2% e o mesmo é absorvido pelo excedente de geração de cada motor que é de 17.04 MW nos bornes do gerador somado a um consumo interno de aproximadamente 1,30%, mas sendo necessário para cumprir o contrato apenas 15 MW por motor. Todos os operadores recebem treinamentos tanto da Wartsila Finlândia como da Wartsila Brasil para aprender a operar os motores. Existem treinamentos em novos equipamentos de fabricantes de equipamentos que não sejam Wartsila. Todos os operadores são treinados nas instruções e procedimentos de operação e quando ocorre um erro causado por falha humana, que ainda não tenha ocorrido, todos os outros operadores dos outros turnos são treinados. A equipe de manutenção recebe treinamentos mais substanciais tais como: sistema de controle, instrumentação dedicada, sistema de excitação, governador, geradores, etc. Não tem como prever todos os treinamentos necessários então existe sempre problemas que demandarão tempo para solução e necessitarão serem programados treinamentos.

Foi realizado cálculo do FOR para termos uma ideia da taxa de saída forçada da usina. Este visa medir o nível de confiabilidade da usina para o sistema. Este índice se calcula tendo o número de horas em que a planta efetivamente despachou para o grid (SH- *service hour*) e também o (FOH- *forced outage hour*) número de horas em que a planta esteve fora de operação e não pôde manter a disponibilidade contratada. Os valores de FOR estão calculados no item A.

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho permitiu avaliar mais criteriosamente a influência do erro humano sobre a operação e manutenção dos equipamentos que compõe a planta térmica. Pôde mostrar também que a formação de equipes de alto desempenho é muito importante para as organizações e que não existe um perfil único de equipe que atenda a toda e qualquer situação. A diversidade das competências nas equipes é um elemento deveras importante, uma vez que, quando trabalhadas de forma adequada, podem se tornar pontos fundamentais para obtenção de resultados superiores. O trabalho permitiu também um maior conhecimento de técnicas atualmente existentes para determinação de perfis profissionais. Todo esse conhecimento possibilitará ao gestor identificar oportunidades para o desenvolvimento de sua equipe, trabalhando os pontos fracos e incentivando os fortes, visando a formar uma equipe de alto desempenho. Possibilitará uma evolução no processo de gestão, no sentido de proporcionar uma maior motivação de cada indivíduo, como ser único, e, por conseguinte, o alcance de melhores resultados. Para tanto, essa evolução pode se formar a partir da estratégia montada pela política de recrutamento e treinamentos aplicada pelas empresas. No caso aqui estudado, essas estratégias são preponderantes, já que se trata de organização de alto nível tecnológico, onde o

aprendizado constante representa uma forma de superar as adversidades na liderança das equipes e no preparo da capacidade instrumental e técnica de cada colaborador. A fase de recrutamento é fundamental para o sucesso do negócio. Contratar os profissionais adequados para as funções necessários é primordial.

Ademais, pelo desenho da pesquisa, percebe-se que às organizações não cabe mais somente delimitar o nível de competências considerado apropriado para as atribuições de cada cargo. É necessário ir mais além, e buscar nos próprios colaboradores o entendimento de como as suas próprias competências podem ser desenvolvidas. Para isto foi sugerido um programa de treinamento o qual foi desenvolvido pela própria empresa chamado de PAPO – Plano de Aperfeiçoamento Profissional Orientado. O PAPO tem por finalidade capacitar todos os técnicos de O&M para estarem aptos a resolver a maioria dos problemas que surgirem na empresa. Tem como premissa fazer com que cada profissional estude uma seção da usina ou manual de um determinado equipamento e monte além de material técnico e traduzido, uma apresentação em Power Point para todos os colaboradores do site e faça um tour para apresentação de sua matéria de estudo. Isto exige a participação de todos, tornando cada um especialista em um determinado tema e conhecedor de todos os outros. Isto visa capacitá-lo a consolidar os treinamentos anteriormente ministrados e aprender assuntos novos ainda não vistos.

A empresa também deve continuar acompanhando os indicadores de falhas e de produtividade com relação aos erros humanos para verificar se ocorre diminuição da influência dos erros humanos nos referidos indicadores. Seria prudente a criação de um banco de dados para armazenar todas estas informações e assim poder criar históricos e estatísticas que conduzam a soluções eficazes para eliminação dos erros. Após a identificação de tantas falhas e da pouca influência do contratante sobre a contratada devido à maioria das ações serem norteadas pelo contrato assinado entre ambos, recomenda-se uma rediscussão do contrato atual para que possibilite ao cliente uma maior participação nas diretrizes e condutas do fornecedor para minimizar e/ou solucionar os problemas da usina. Aconselha-se também a participação na seleção do corpo técnico que assumirá o O&M da usina. Seria prudente também um estudo que possa levar a CEM a ter seu próprio grupo de O&M o que poderia também maximizar seu lucro ao assumir o O&M da usina.

Aconselha-se também que seja realizado um trabalho minucioso no tratamento dos alarmes do sistema. Devido ao grande número de alarmes os operadores param de dar importância aos mesmos e isto põe em risco a operação da usina e seus equipamentos. Por vezes eles desligam até a caixa acústica para não serem incomodados, principalmente nos turnos noturnos. Este trabalho requer uma intervenção altamente técnica e que envolva a engenharia de projetos para realização do mesmo. Várias empresas já estão trabalhando neste tipo de conduta visando minimizar os prejuízos causados por estes problemas.

Espera-se que este trabalho sirva futuramente para reduzir ou até eliminar o erro humano das atividades da CEM e de outras térmicas que se enquadre no mesmo perfil. Também para que os administradores e acionistas tenham

em mente que qualquer redução de custo em qualidade de mão de obra e treinamentos necessários para garantir o funcionamento adequado de suas instalações pode trazer prejuízos incalculáveis tanto em equipamentos, contratos e no seu próprio capital intelectual. Erros causados pela imperícia, falta de atenção, imprudência, falta de instrução e outras causas, por parte de um colaborador pode trazer prejuízos incalculáveis para empresa, prejuízos estes que podem pagar toda folha de funcionários até pelo tempo de vida do contrato. Os acionistas têm que ter em mente que o desafio da construção e operacionalização do empreendimento é somente o início, mas que o tempo de vida e o futuro do empreendimento é conduzido pelo grupo de O&M. Infelizmente ainda existe uma negligência dos investidores brasileiros quando o assunto é qualidade de mão de obra x remuneração adequada, o que leva a encontramos equipes despreparadas conduzindo negócios de milhões de dólares. É isto que temos presenciado em diversas térmicas espalhadas pelo país e foi este o principal motivo impulsionador para elaboração e desenvolvimento deste trabalho, que pode ser continuado futuramente com estudo em outras unidades térmicas similares.

## VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a contribuição da empresa UTE Manauara pelo fornecimento dos dados que possibilitaram a realização do presente trabalho. Agradecem também a participação e as sugestões do prof. Alessandro Barghini do IEE-USP que muito contribuíram no desenvolvimento do trabalho.

## VIII. REFERÊNCIAS

- [1] E. Hollnagel, *Human Reliability Analysis. Academic press*, p.20-37, 1993
- [2] *IEEE Standard Definitions for Use in Reporting Electric Generating Unit Reliability, Availability, and Productivity*, IEEE Std. 762-2006, IEEE Power Engineering Society Approved 29 December 2006.
- [3] ELETROBRAS “ Plano de Operação 2010 - Sistemas Isolados, Grupo Técnico Operacional da Região Norte (GTON)”, Eletrobrás, fevereiro, 2010. Disponível em: [http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMISB4C86407ITEMID\\_EC0979DBFDF4475A31054C6EF050523PTBRIE.htm#Programas%20Mensais%20de%20Opera%C3%A7%C3%A3o%2028PMO%29](http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMISB4C86407ITEMID_EC0979DBFDF4475A31054C6EF050523PTBRIE.htm#Programas%20Mensais%20de%20Opera%C3%A7%C3%A3o%2028PMO%29) - Acesso em 28/10/2010.
- [4] P. C. R. Gomes "A influência do fator humano nos indicadores de O&M das usinas termelétricas". Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do certificado de Especialista em Gestão de Usinas Termelétrica MBA / USP, 2010.

## IX. BIOGRAFIAS



### **Maria Alice Morato Ribeiro.**

Graduada em Engenharia Química pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil e doutorada pelo IPEN na Universidade de São Paulo. É funcionária do IPEN- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, trabalhando em projetos da Marinha junto ao IPEN. Seus campos de interesse incluem:

simulação de plantas termelétricas, benchmarking, confiabilidade e impacto ambiental.



**Paulo Cesar Rocha Gomes**, profissional da área de Automação&Controle com MBA em Engenharia de Automação&Controle pela UGF e Mestrado em Engenharia da Produção pela UFPA, curso de Especialização em Gestão de UTE na USP, Mestrado em Gestão Empresarial pelo ISCTE de Lisboa – Portugal, MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV e MBA em Tecnologia do Gás Natural pela

UEA. Mais de 17 anos de experiência em indústria química e 10 anos de experiência em usinas termelétricas de ciclo simples e combinado.