

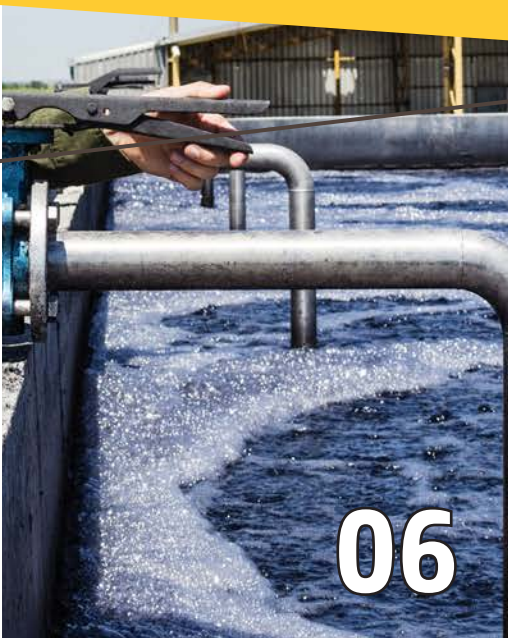
Revista Técnica da **UNIVERSIDADE PETROBRAS**

v. 1, n. 5, nov. 2017



ISSN: 2359-134X

SUMÁRIO



06

SERVIÇO TÉCNICO-EDUCACIONAL NAS ÁREAS DE ÁGUAS E EFLUENTES:

a experiência obtida pela área de engenharia ambiental da Universidade Petrobras nos últimos 10 anos

Albérico Ricardo P. da Motta
Sandra Marinho
José Erasmo de S. Filho
Thais Matos Resende



20

DESEMPENHO AO FOGO DE PILARES DE AÇO E MISTOS AÇO E CONCRETO PARA UTILIZAÇÃO EM REFINARIAS DE PETRÓLEO

Thiago da Cruz Colonese



38

DEZ ANOS DE CAPACITAÇÃO EM ENGENHARIA SUBMARINA NA PETROBRAS

Luiz Antonio S. de Negreiros
André de A. Almeida
Eduardo Ribeiro Nicolosi
Juliana Soares Lima
Pablo J. Tavares Gomes



54

MONITORAMENTO DE PERFORMANCE DE MOTORES DE COMBUSTÃO:

uma técnica indispensável para o diagnóstico de falhas ocultas

Thiago Fernandes da Costa Lima
Alisson Bispo Santos



66

PREVENÇÃO DE ACIDENTES DO TRABALHO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO OFFSHORE:

analisando a cultura organizacional e os fatores humanos

Josué Eduardo M. França
Assed Naked Haddad
Isaac José Antônio
Luquetti dos Santos



82

PROJETO DE EXAUSTORES EÓLICOS OU SOLARES PARA CONTROLE DE TEMPERATURA NA CASA DE MÁQUINAS DA UTE-MCY

Vitor Mascarenhas Péres
Sonaldo V. de Oliveira Jr

EDITORIAL

Fomentando o registro e a disseminação dos resultados de estudos e atividades de seus empregados, a Revista Técnica da Universidade Petrobras (RTUP), em seu 5º número digital, contribui para disseminar o conhecimento, em todas as direções, e inspirar novas e grandes descobertas em todas as áreas da companhia.

A RTUP continua disponível somente na versão digital e editada dentro da Petrobras, reforçando o compromisso da UP com a otimização dos recursos da companhia.

Neste número, apresentamos seis novos artigos, escritos por 14 empregados da companhia e três colaboradores, sobre os mais variados temas de interesse, tais como educação corporativa, refinarias de petróleo, desempenho ao fogo, motores a combustão, gerenciamento de riscos, segurança do trabalho e exaustores.

O artigo "Serviço Técnico-Educacional nas áreas de águas e efluentes", de Albérico Ricardo Passos da Motta, Sandra Marinho de Souza, José Erasmo de Souza Filho e Thaís Matos Resende, sobre educação corporativa, apresenta e avalia a experiência obtida por profissionais de engenharia ambiental da Universidade Petrobras nas suas atividades.

Em "Desempenho ao fogo de pilares de aço e mistos aço e concreto para utilização em refinarias de petróleo", o autor Thiago da Cruz Colonese avalia o desempenho termomecânico de diferentes tipologias de pilares de aço e mistos sob incêndio, visando a aplicação em estruturas industriais de refinarias de petróleo.

No relato de experiência "Dez anos de capacitação em engenharia submarina na Petrobras", de Luiz Antônio Sulino de Negreiros, André de Albuquerque Almeida, Eduardo Ribeiro Nicolosi, Juliana Soares Lima e Pablo José Tavares Gomes, são apresentados os 10 anos (2007 – 2017) de Capacitação Técnica na Área de Engenharia Submarina na Universidade Petrobras.

Em "Monitoramento de performance de motores de combustão", de Thiago Fernandes da Costa Lima e Alisson Bispo Santos, sobre motores a combustão, podemos conhecer um grande avanço na atividade de manutenção dos motores de combustão a gás da Unidade de Processamento de Gás Natural da UO-SEAL, em Sergipe.

O artigo "Prevenção de acidentes do trabalho na indústria de petróleo offshore", de Josué Eduardo Maia França, Assed Naked Haddad e Isaac José Antônio Luquetti dos Santos, apresenta o resultado de uma pesquisa descritiva sobre os acidentes das plataformas Deepwater Horizon, em 2010, e FPSO Cidade de São Mateus, em 2015, evidenciando a importância dos fatores humanos e da cultura organizacional na análise e investigação de acidentes offshore.

Já o estudo de caso "Projeto de exaustores eólicos ou solares para controle de temperatura na casa de máquinas da UTE-MCY", de Vitor Mascarenhas Péres e Sonaldo Vital de Oliveira Júnior, procurou explorar inovações tecnológicas e os benefícios das mudanças propostas quanto ao custo e melhorias para a produção/manutenção.

A Universidade Petrobras incentiva todas as formas de criação e compartilhamento do conhecimento e trabalha para disponibilizar a toda a companhia os resultados das ações e estudos desenvolvidos pelo empregados e colaboradores, nas mais variadas áreas de atuação.

Desejamos a todos uma excelente leitura!



Hermes Gomes da Silva Filho
Gerente da Universidade Petrobras

Recursos Humanos
Universidade Petrobras
Gerente
Hermes Gomes da Silva Filho

Recursos Educacionais
Gerente Setorial
Rodrigo de Souza Granja

Coordenação Editorial / Editora Responsável: Anna Paula Tavares de Araujo.
Projeto Gráfico / Diagramação / Infografia: Caroline Leal / Claudio Souto.
Estagiária: Mariana da Silveira Machado Pereira (Biblioteconomia).
Revisão Ortográfica e Gramatical: Betty Vibranovski

SERVIÇO TÉCNICO-EDUCACIONAL NAS ÁREAS DE ÁGUAS E EFLUENTES:

a experiência obtida pela área de engenharia ambiental da
Universidade Petrobras nos últimos 10 anos

Albérico Ricardo Passos da Motta

Sandra Marinho de Souza

José Erasmo de Souza Filho

Thais Matos Resende





Trabalhador monitor de filtragem de água
Fonte: Istockphoto

RESUMO

A Universidade Petrobras (UP) tem realizado relevantes trabalhos para desenvolvimento dos empregados da companhia, destacando-se a oferta de cursos e outros eventos educacionais, como workshops, seminários e congressos. Em função de suas atividades, a UP apresenta um potencial elevado para contribuir, de forma mais efetiva e integrada, com o aprimoramento dos processos das demais unidades da companhia. Uma dessas formas é a prestação de serviço técnico-educacional (STE), o que, de fato, já vem ocorrendo há algum tempo. O objetivo deste artigo é apresentar e avaliar a experiência obtida por profissionais de engenharia ambiental da UP na prestação de serviço técnico-educacional nas áreas de águas e efluentes líquidos ao longo dos últimos 10 anos. A avaliação utilizou como base os principais casos em que os serviços foram prestados e as principais características de cada um. As características adotadas buscaram representar aspectos como: a relação entre a UP e a unidade-cliente, o perfil técnico da unidade-cliente e o tipo de produto entregue. Dessas características, destacam-se o canal da demanda, os ganhos esperados para a companhia e as dificuldades encontradas. A análise é finalizada com a apresentação de várias proposições para aprimoramento da prestação do serviço. Entende-se que este artigo possibilitará que se encontre um caminho que vise o aprimoramento do serviço técnico-educacional ora prestado, aspecto que resultará em uma maior aproximação da UP com as áreas operacionais da empresa, trazendo, como consequência, benefícios mútuos e ganhos significativos para a toda a companhia.

Palavras-chaves: Serviço técnico-educacional. Água. Efluentes. Esgotos.

ABSTRACT

Petrobras University (UP) has conducted significant work for development of the company's employees, highlighting the offer of courses and other educational events such as workshops, seminars and conferences. Because of its activities, UP has a high potential to contribute in a more effective and integrated manner, with the improvement of processes in the other company units. One of those ways is to provide technical and educational consultancy, which, in fact, has been happening some time ago. The aim of this article is to present and evaluate the experience gained by professional environmental engineering UP in providing technical and educational consultancy in the areas of water and wastewater over the past 10 years. The evaluation used as the base, the main cases where consulting was provided and the main features of each. Features adopted searched to represent aspects such as the relationship between the UP and the unit-client, the technical profile of the unit-client and the type of product delivered. Of these characteristics, it highlights the demand channel, the expected gains for the company and the difficulties encountered. The analysis concludes with the presentation of several proposals to improve the provision of consultancy. It is understood that this article make it possible to find a path that seeks the improvement of technical and educational consultancy provided herein, an aspect that will result in further approximation of UP with the operational areas of the company, bringing as a result, mutual benefits and significant gains for the entire company.

Keywords: Technical and educational consultancy. Water. Wastewater. Sewage.

1 INTRODUÇÃO

A Universidade Petrobras (UP) tem realizado relevantes trabalhos para desenvolvimento dos empregados da companhia, destacando-se a oferta de cursos e outros eventos educacionais, como workshops, seminários e congressos.

Para desenvolver essas atividades, a UP conta com um quadro constituído por orientadores didáticos e instrutores com um elevado nível técnico e acadêmico.

Um aspecto a ser destacado é que os alunos ou participantes desses eventos não são apenas passivos receptores de conteúdo, quando comparados com os de uma universidade meramente acadêmica. Pelo fato de já deterem conhecimentos técnicos específicos, tanto os derivados de experiências de campo quanto os de cursos de aperfeiçoamento em determinadas subáreas, os alunos participam ativamente das aulas ou eventos, aspecto que promove uma interação contínua entre o instrutor e a turma e contribui sobremaneira para elevação do nível técnico do evento.

Por essas razões, em função de suas atividades, a UP apresenta um potencial elevado para contribuir, de forma mais efetiva e integrada, com o aprimoramento dos processos das demais unidades da empresa. Uma das formas de implementar essa contribuição é a de prestação de serviço técnico-educacional (STE), o que de fato, já vem ocorrendo há algum tempo.

Ao longo de um período de 10 anos, profissionais de engenharia ambiental da UP vêm atuando na prestação de serviço técnico-educacional nas áreas de águas e efluentes líquidos. Esses trabalhos vêm ocorrendo de formas contínua e diversificada, o que têm se traduzido em benefícios concretos, como serão vistos a seguir. Entretanto, o aprimoramento da sistematização do STE é um fator primordial e determinante para maximização dos ganhos obtidos para a companhia.

O objetivo deste artigo é apresentar e avaliar a experiência obtida por profissionais de engenharia ambiental da UP no citado serviço técnico-educacional nas áreas de águas e efluentes líquidos ao longo dos últimos 10 anos.

Para tanto, foram utilizados, como base, os principais casos em que foram prestados os citados serviços, buscando-se subsidiar o processo de avaliação através da identificação das suas características, com ênfase para o canal da demanda, os ganhos esperados para a companhia e as dificuldades encontradas.

A análise é finalizada com a apresentação de várias proposições para aprimoramento do STE, visando superar as dificuldades descritas e analisadas.

Dessa forma, entende-se que este trabalho possibilitará o encontro de um caminho que vise o aprimoramento do serviço técnico-educacional, aspecto que resultará em uma maior aproximação da UP com outras unidades, trazendo, como consequência, benefícios mútuos e ganhos significativos para toda a companhia.

2 OBJETIVO

Apresentar e avaliar a experiência obtida pelos profissionais de engenharia ambiental da UP no serviço técnico-educacional nas áreas de águas e efluentes líquidos ao longo dos últimos 10 anos e avaliar os aspectos necessários para o seu aprimoramento, de forma a maximizar os ganhos obtidos pela companhia.

Os objetivos específicos são:

- apresentar os principais casos em que foram prestados os serviços técnico-educacionais;
- identificar as principais características dos serviços realizados, com ênfase para os ganhos esperados e as principais dificuldades encontradas para a sua execução;
- analisar o processo de desenvolvimento do serviço técnico-educacional, de modo a possibilitar a ampliação do seu alcance de forma sustentável;
- apresentar proposições que visem a superação das dificuldades encontradas, tanto na unidade-cliente quanto na UP, a fim de facilitar o desenvolvimento dos serviços futuros;
- aproximar a UP das áreas operacionais, o que poderá resultar em benefício mútuo, com ganhos significativos para toda a companhia.

3 AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS TÉCNICO-EDUCACIONAIS PRESTADOS

A avaliação dos serviços prestados está apresentada a seguir. Foram utilizados, como base, os principais casos em que esses serviços foram prestados e as principais características de cada um. A análise é finalizada com a apresentação de várias proposições de aprimoramento da atividade.

3.1 PRINCIPAIS CASOS

Os principais serviços técnico-educacionais realizados estão sumarizados nos subitens a seguir

3.1.1 PROJETO MANATI / PONTA DO FERROLHO

O Projeto Manati consiste em um sistema de produção de gás natural composto por uma plataforma marítima de produção de gás, um gasoduto e uma estação de coleta e tratamento de gás. Esse gasoduto é composto por dois trechos marítimos (1º e 3º trechos) e dois terrestres (2º e 4º trechos).

Durante a fase final de interligação do 3º com o 4º trecho, localizado na localidade de Ponta do Ferrolho, foi realizado o teste hidrostático no 3º trecho, que se consistiu nas seguintes etapas: enchimento da tubulação com água do mar, pressurização da água, tratamento da água (efluentes) e descarte da mesma. O principal parâmetro desses efluentes que requereu atenção foi o de sólidos em suspensão, basicamente composto por ferro oxidado removido das paredes da tubulação (PETROBRAS, 2006a).

O objetivo do serviço técnico-educacional, nesse caso, foi elaborar um diagnóstico do sistema de tratamento de efluentes implantado.

3.1.2 TAQUIPE – ESTAÇÃO DE FLUIDOS

O objetivo do trabalho foi estudar o aproveitamento de águas pluviais para o processo de preparação de fluidos de completção.

O trabalho foi originado em função do interesse da base de Taquipe de realizar um estudo do reúso de águas e efluentes em toda a sua área. Em função disso, foi realizado um balanço hídrico de toda a base com o objetivo de se conhecer todas as suas correntes de abastecimento de água e descarte de efluentes.

Durante a elaboração do citado balanço hídrico, verificou-se que a maior unidade consumidora de água da base era a Estação de Preparação de Fluidos de Perfuração e de Completção, sendo que, dessa Estação, a corrente de abastecimento de água para o preparo de fluidos de completção representava em torno de 80% do consumo total.

Ao longo do estudo, constatou-se que a água pluvial poderia ser uma fonte de abastecimento alternativa para os processos da unidade. Para tanto, foram feitos estudos hidrológicos e caracterização da água pluvial em várias bacias de drenagem dentro da base a fim de se verificar se a qualidade da água da chuva atendia ao grau de qualidade requerido para a fabricação de fluido (PETROBRAS, 2008).

3.1.3 REFAP – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DESPEJO INDUSTRIAL (ETDI)

A Estação de Tratamento de Despejo Industrial (ETDI) da Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP) apresentava, na época da prestação do serviço, problemas operacionais diversos e que resultavam em descartes de efluentes no corpo receptor de parâmetros com valores acima dos limites estabelecidos pela legislação.

Visando investigar a origem da não conformidade, o objetivo do trabalho foi elaborar um diagnóstico operacional detalhado da principal unidade da ETDI, a lagoa aerada (PETROBRAS, 2006d; 2007e).

3.1.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS DE IMBETIBA

O objetivo do trabalho foi realizar um treinamento para os operadores da Estação de Tratamento de Esgotos/Efluentes (ETE) de esgotos sanitários da base de Imbetiba sobre a operação e a partida da planta.

O trabalho foi originado em função da necessidade de ampliação da ETE, resultado do crescimento da população da base, que havia passado de 3500 para 7000 pessoas. Adicionalmente, o projeto de ampliação da ETE previu uma mudança do processo de tratamento, que passou de lagoas aeradas para valos de oxidação.

O treinamento “Operação e monitoramento de estações de tratamento de esgotos sanitários com processo de lodos ativados” (PETROBRAS, 2007f) foi construído de forma bem específica e com base nas memórias de cálculo e desenhos do projeto da nova ETE. Esse fato possibilitou a construção de exemplos para o curso com os dados da própria estação.

3.1.5 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DA USINA DE BIODIESEL DE CANDEIAS

O objetivo do trabalho foi de realizar um diagnóstico da ETE da usina, enfatizando as não conformidades operacionais encontradas e propondo as correspondentes medidas mitigadoras para cada uma delas.

Este trabalho foi originado em função das discussões técnicas surgidas no curso “Tratamento de Efluentes”, coordenado por um dos autores deste trabalho. Durante essas discussões, foi verificado que a ETE da usina de Candeias apresentava problemas de diversas naturezas, tanto ligados a projeto quanto a procedimentos operacionais. Ambos resultavam em dificuldades para se enquadrar a qualidade final do efluente

dentro dos padrões requeridos para seu descarte exigidos pela legislação. A situação se tornava ainda mais complexa quando se considera que havia uma grande carência de conhecimento operacional na unidade.

3.1.6 CENTRAL DE DESPARAFINAÇÃO DE SANTIAGO, UO-BA

O objetivo do trabalho foi estudar a possibilidade de utilização de águas de chuva como fonte de suprimento alternativa à água utilizada no processo de desparafinação das colunas de produção da central de desparafinação da base de Santiago.

O processo de desparafinação é decorrente do tipo de petróleo produzido na região da Unidade Operacional da Bahia (UO-BA), que apresenta elevados teores de parafina. Durante o processo produtivo, a parafina fica impregnada nas paredes dos tubos que compõem as colunas de produção.

O processo de desparafinação é composto por uma série de etapas e, em quase todas elas, ocorre um consumo de água com elevados volumes de água.

3.1.7 HAZOP – PROJETO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CANDEIAS

O objetivo deste trabalho foi a prestação de serviço técnico-educacional à UO-BA na realização do Hazop do projeto da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Candeias.

Como se sabe, o Hazop, é uma ferramenta de análise de risco que visa identificar falhas e problemas de projetos, além de ajustá-lo às necessidades de todas as áreas operacionais da unidade.

Nesse caso, a participação da UP no Hazop foi particularmente importante, uma vez que a unidade-cliente não detinha conhecimento técnico para avaliar o projeto citado, aspecto agravado pelo fato de que a equipe da empresa projetista tampouco tinha o perfil adequado para projetos de ETA.

3.1.8 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DA UO-BA

O objetivo do trabalho é otimizar os sistemas de abastecimento de água (SAA) das unidades operacionais da UO-BA, o que possibilitará a oferta de água com qualidade adequada e a redução de custos na produção.

O trabalho surgiu em função de uma solicitação da UO-BA à UP para a realização de um grande trabalho de avaliação dos sistemas de abastecimento de cada uma das suas nove bases: Água Grande, Araças, Buracica, Candeias, Fazenda Imbé, Fazenda Bálsamo, Miranga, Taquipe e Camaçari.

O escopo do trabalho, ora em andamento, contempla a realização de diagnósticos dos SAA de cada base, com o intuito de identificar não conformidades, desde a captação da água até a sua distribuição (PETROBRAS, 2016h; 2016i; 2015j), e de oferecer proposições para melhorias, além do desenvolvimento de projetos conceituais (PETROBRAS, 2016k; 2016l) e acompanhamento dos projetos básico (PETROBRAS, 2016m) e executivo.

3.1.9 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA UNIDADE 52-A DA RLAM

O projeto tem o objetivo de otimizar a ETA da unidade 52-A da RLAM em relação aos seus parâmetros operacionais e dosagens de produtos químicos, visando a redução de custos operacionais com o tratamento de água realizado nessa unidade (PETROBRAS, 2016c).

O trabalho foi originado também através de um curso sobre tratamento de efluentes oferecido pela UP. Durante as discussões técnicas, foi discutido com o instrutor sobre a necessidade de uma avaliação técnica da unidade 52-A de modo a otimizar o seu processo de clarificação de água. O objetivo da otimização seria o de se obter um maior controle operacional e uma dosagem de produtos químicos mais adequada.

O trabalho, ora em andamento, já teve o diagnóstico operacional do processo de clarificação da unidade 52-A concluído, onde um dos aspectos observados foi a possibilidade de redução significativa dos custos operacionais com o consumo dos produtos químicos utilizados no processo.

3.1.10. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL DO TERMINAL DE CABIÚNAS, MACAÉ

O trabalho teve por objetivo a otimização da Estação de Tratamento de Águas Industriais (ETAI) do Terminal de Cabiúnas (TECAB) através da identificação de problemas operacionais e de projeto e da proposição de medidas mitigadoras preliminares.

A ETAI do TECAB produz água industrial para atender diversos processos do terminal. Entretanto, desde que começou a operar, apresentou uma grande quantidade de problemas relacionados com alguns processos de tratamento (PETROBRAS, 2015g).

Em função disso, foi solicitado pela unidade-cliente o citado serviço técnico-educacional a UP. A metodologia de realização do trabalho utilizou duas linhas de investigação. Uma delas foi a realização de visitas técnicas à unidade, com o objetivo de conhecer, analisar e realizar testes de campo e de bancada visando encontrar medidas que sanassem os problemas identificados.

A segunda linha de investigação foi a adoção de operação assistida, onde a UP definia os parâmetros operacionais com que a ETAI deveria trabalhar por um período para que os resultados fossem analisados.

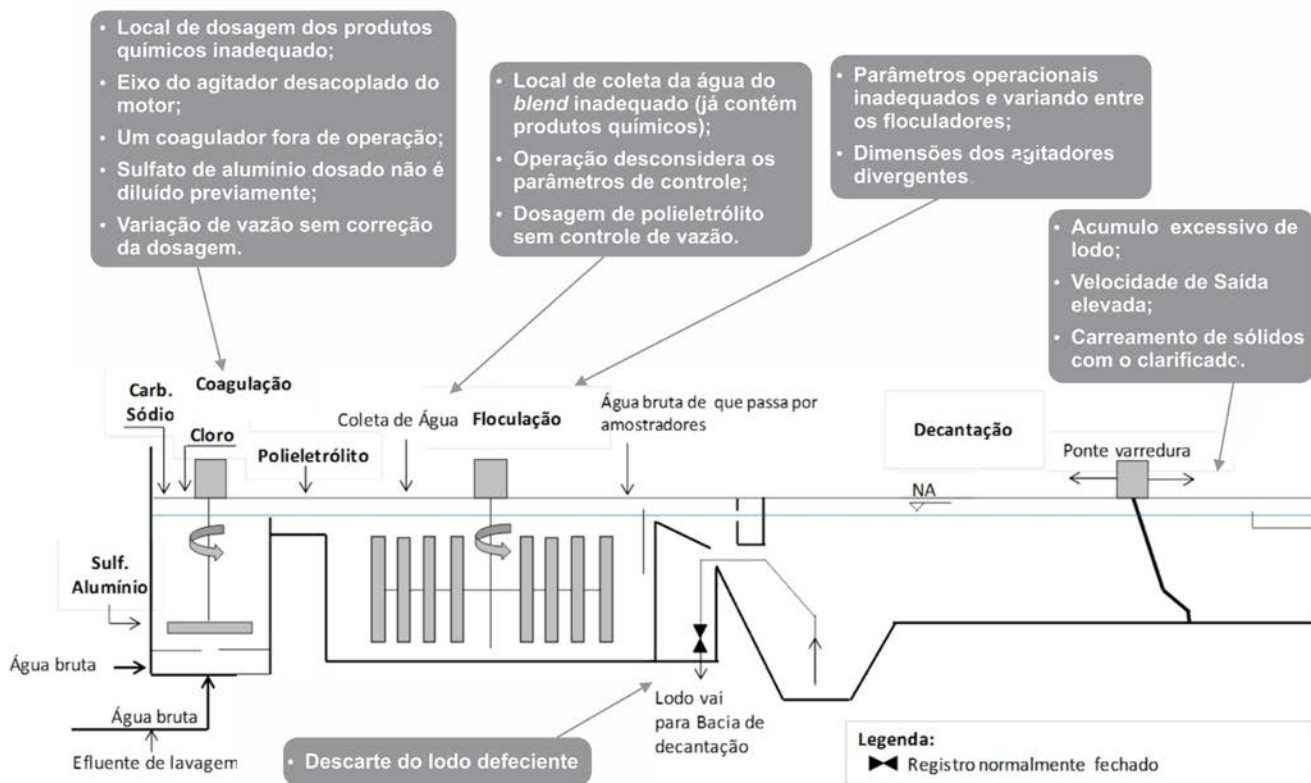
3.1.11 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO TERMINAL BARRA DO RIACHO

O objetivo deste trabalho foi identificar problemas operacionais no sistema de tratamento de esgotos sanitários da unidade que estava resultando em descarte dos mesmos com parâmetros de qualidade fora dos padrões fixados pela legislação. Destaca-se que, em razão desse problema, a unidade havia sido notificada pelo órgão ambiental estadual (PETROBRAS, 2016b).

O sistema de esgotamento sanitário do Terminal Barra do Riacho (TABR) é constituído de vários sistemas independentes de tratamento. Um desses sistemas estava apresentando problemas operacionais que interferiam na remoção dos parâmetros óleos e graxas e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Ambos os parâmetros não estavam sendo enquadrados nos padrões requeridos para descarte.

A Figura 1 apresenta alguns dos problemas típicos encontrados nos serviços técnico-educacionais prestados pela UP.

Figura 1 - Problemas típicos encontrados nos serviços técnico-educacionais da UP.



Fonte: OS AUTORES, 2016.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS SERVIÇOS PRESTADOS

As principais características dos STE estão apresentadas no Quadro 1. Essas características buscaram representar os aspectos mais relevantes

de cada serviço, como a relação entre a UP e a unidade-cliente, o perfil técnico da unidade-cliente, o tipo de produto entregue, entre outros. Dessas características, destacam-se o canal da demanda, os ganhos esperados para a empresa e as dificuldades encontradas.

Quadro 1 – Características dos serviços realizados.

Título	Canal da demanda	Produto do trabalho	Ganhos esperados	Dificuldades encontradas
Gasoduto Manati / Ponto do Ferrolho	Conhecimento prévio	Relatório-diagnóstico	Efluente tratado; Atendimento a legislação	Resistência do cliente
Taquipe / Estação de Fluidos	Conhecimento prévio	Relatório-diagnóstico e Projeto conceitual	Redução de insumos	Não houve
ETDI da REFAP	Demanda para a UP	Dois relatórios-diagnósticos	Operação adequada	Distância
ETE de Imbetiba / Macaé	Demanda para a UP	Curso teórico e prático aplicado e mensagens - respostas a dúvidas	Operação viabilizada	Carência de conhecimento técnico do cliente
ETE da Usina de Biodiesel de Candeias	Curso da UP	Relatório-diagnóstico	Operação adequada; Atendimento a legislação	Dificuldades de análise do relatório entregue devido carência de conhecimento técnico do cliente
Central de desparafinação de Santiago / UO-BA	Conhecimento prévio	Relatório-diagnóstico	Redução de insumos	Não houve
Hazop projeto da ETA de Candeias	Conhecimento prévio	ATA da reunião	Mudança no procedimento da contratação	Dificuldades na discussão devido à carência de conhecimento do cliente
SAA da UO-BA	Conhecimento prévio	Pareceres técnicos, Relatórios-diagnósticos, Projetos conceituais	Produção de água de melhor qualidade e quantidade; Redução de custos operacionais	Carência de conhecimento técnico do cliente; Empresa do projeto básico com perfil inadequado
ETA 52-A da RLAM	Cursos da UP	Relatório-diagnóstico	Produção de água de melhor qualidade; Redução de custos operacionais	Facilitadores de campo
ETAI - Cabiúnas	Demanda para a UP	Relatório de andamento	Operação adequada; Redução do desperdício de água	Desuniformidade na operação
Sistema de esgotamento sanitário - TABR	Curso da UP	Parecer técnico	Atendimento a legislação	Não houve

Fonte: OS AUTORES, 2016.

Um aspecto importante para a prestação do STE, é a forma pela qual a unidade-cliente toma conhecimento ou se dá conta de que a UP é um possível caminho para atender a sua necessidade operacional.

Esse aspecto está representado pela característica “canal da demanda” mostrada no Quadro 1 e cujos esclarecimentos adicionais estão apresentados a seguir:

- conhecimento prévio: ocorreu quando o cliente já tinha conhecimento prévio de que o técnico da UP atuava na área de projetos e operação de sistemas de tratamento águas e efluentes;
- demanda para a UP: ocorreu quando o cliente entrou diretamente em contato com a UP, que o redirecionou para o técnico responsável pelo STE;
- cursos da UP: ocorreu quando o cliente participou de curso ou outro evento ofertado pela UP onde o técnico responsável pelo serviço técnico-educacional era coordenador e/ou docente

Outra característica de fundamental importância são os “ganhos esperados” para a companhia. Entre esses tipos de ganhos estão os econômicos, os de produtividade e os ligados ao atendimento à legislação. Este último, além de também estar ligado a ganhos econômicos, representa um dos importantes componentes de valoração da marca da empresa.

Dos ganhos econômicos, destaca-se a redução de custos operacionais, que pode ser obtida através de várias formas, como a redução de insumos como a água de suprimento, produtos químicos e consumo de energia elétrica.

Os ganhos de produtividade também podem ocorrer de várias formas, como através da otimização de procedimentos ou mecanismos de controle operacional, pela produção de água ou de esgotos/efluentes tratados com melhor qualidade ou pela melhoria da qualidade dos projetos básicos e executivos desenvolvidos por empresas contratadas.

Uma terceira característica que merece atenção são as dificuldades encontradas para o desenvolvimento dos trabalhos. Destaca-se que a avaliação dessa característica representa um aspecto de fundamental importância a ser considerado em um possível processo de busca pelo aprimoramento do serviço técnico-educacional na UP.

A maior parte dessas dificuldades está relacionada com as unidades-clientes. Outra parte delas refere-se à estrutura da equipe que realiza esse serviço técnico-educacional. Conforme apresentado no Quadro 1, as principais dificuldades são:

- relacionados com a unidade-cliente;
 - carência de conhecimento técnico: algumas unidades-clientes não possuem corpo técnico qualificado nas áreas de águas e efluentes e, por isso, não possuem condições técnicas para lidar com problemas relacionados. Essa carência resulta em alguns problemas, como a dificuldade de entendimento para avaliar o produto do serviço técnico-educacional prestada ou a de contratação de empresas de projetos com perfil adequado ao caso,
 - empresas contratadas para execução dos projetos básico ou executivo não possuem perfil adequado: em alguns casos não são realizados contratos específicos para o desenvolvimento de projetos das áreas de água e efluentes; o procedimento adotado é o de se aproveitar um determinado contrato existente, o que resulta na utilização de uma empresa que presta serviço em projetos de outras áreas, como engenharia civil ou processo industrial, mas sem experiência em projetos de água ou efluentes,
 - técnicos de empresas contratadas para execução dos projetos básico ou executivo não possuem perfil adequado: essa dificuldade é, geralmente, resultante das duas citadas anteriormente. Em muitos casos, os projetos das áreas de águas e efluentes ficam a cargo de profissionais das áreas de engenharia civil ou de engenharia química, considerados inadequados para a atividade. Devido a esse fato, são

identificadas diversas incompatibilidades e erros nos projetos de água e efluentes, que causam diversos problemas operacionais, além de distorções na comunicação técnica. Para tal atribuição, o profissional deve ter formação acadêmica e/ou experiência na área de projetos de estações de tratamento de água e efluentes, com ênfase para as disciplinas hidráulica e processos e operações de tratamento,

- facilitadores de campo com dificuldades para acompanhar o andamento do projeto: essa dificuldade compromete a troca de informações entre a UP e a unidade-cliente e, conseqüentemente, o andamento do trabalho. Além disso, observa-se demasiada rotatividade e falta de homogeneidade de atuação dos diferentes operadores nas áreas, o que torna difícil a uniformização dos procedimentos dentro das unidades,
- dificuldade da unidade em proceder as alterações necessárias para a continuidade do trabalho: esse fato pode ser observado através da falta de agilidade de realização de atividades de manutenção nas unidades, lentidão no processo de aquisição de peças ou equipamentos e na dificuldade em implantação de mudanças de procedimento. Todos esses aspectos podem resultar em determinados problemas, como a permanência de uma unidade operacional paralisada, sua operação de forma inadequada e o não atendimento às recomendações feitas pelo serviço, o que dificulta o prosseguimento do serviço técnico-educacional prestado,

A sistematização contemplava diversos aspectos, como os diversos tipos de serviços técnico-educacionais possíveis, o fluxo das informações ao longo das gerências e técnicos envolvidos e as formas de registros das informações nos sistemas da UP. O trabalho foi apresentado e aprovado, encontrando-se, atualmente, em fase de implementação por um grupo de trabalho criado pela gerência da UP.

Outro aspecto importante para o aprimoramento do STE é superar as dificuldades apresentadas previamente. As medidas propostas para isso são:

- relacionadas como cliente;
 - treinamentos nas áreas de águas e efluentes utilizando a Metodologia 6D: visam suprir as citadas deficiências técnicas da unidade-cliente. Esses treinamentos devem contemplar conteúdos teóricos e práticos, estimulando a participação da unidade-cliente nas resoluções das não conformidades operacionais encontradas. Dessa forma, foi desenhado um modelo de capacitação que prevê que o participante receba, alternadamente, conteúdos teóricos e a aplicação dos mesmos para resolução de algum caso prático na sua unidade. Todas essas etapas ocorrerão de forma assistida pelo técnico da UP, garantindo, assim, a transferência de conhecimento para a rotina do aluno e o seu alinhamento com os objetivos do negócio, como prevê a metodologia 6D,
 - orientação ao cliente sobre a empresa de projeto a ser contratada e equipe técnica da mesma: a UP pode oferecer esse serviço às unidades-clientes para selecionar a equipe mais adequada para execução de projetos básico e executivo, apontando quais as competências necessárias e avaliando os currículos dos profissionais que a empresa terceirizada oferece para o serviço. Além disso, a UP pode também avaliar o projeto ao longo do seu processo de desenvolvimento, a fim de direcionar o seu andamento para os interesses da Petrobras e, assim, evitar possíveis desvios no mesmo,
 - reunião prévia ao início dos trabalhos com gerência ou facilitadores de campo: visa

3.3 PROPOSIÇÕES PARA APRIMORAMENTO DO SERVIÇO PRESTADO

Um dos aspectos importantes para o desenvolvimento do serviço técnico-educacional é a sua sistematização. Visando aprimorar este aspecto, foi encomendado pela gerência da UP um projeto de sistematização do STE. O trabalho foi desenvolvido pelos engenheiros Claudio José Marcondes Ribas e Albérico Ricardo Passos da Motta.

firmar um compromisso entre a unidade-cliente e a UP em relação ao atendimento das necessidades que surgirem durante todo o projeto. Essas necessidades podem estar relacionadas com o fornecimento de documentos técnicos, informações operacionais, acompanhamento de trabalhos de campo e outras informações ou dados que venham a ser necessárias para o STE,

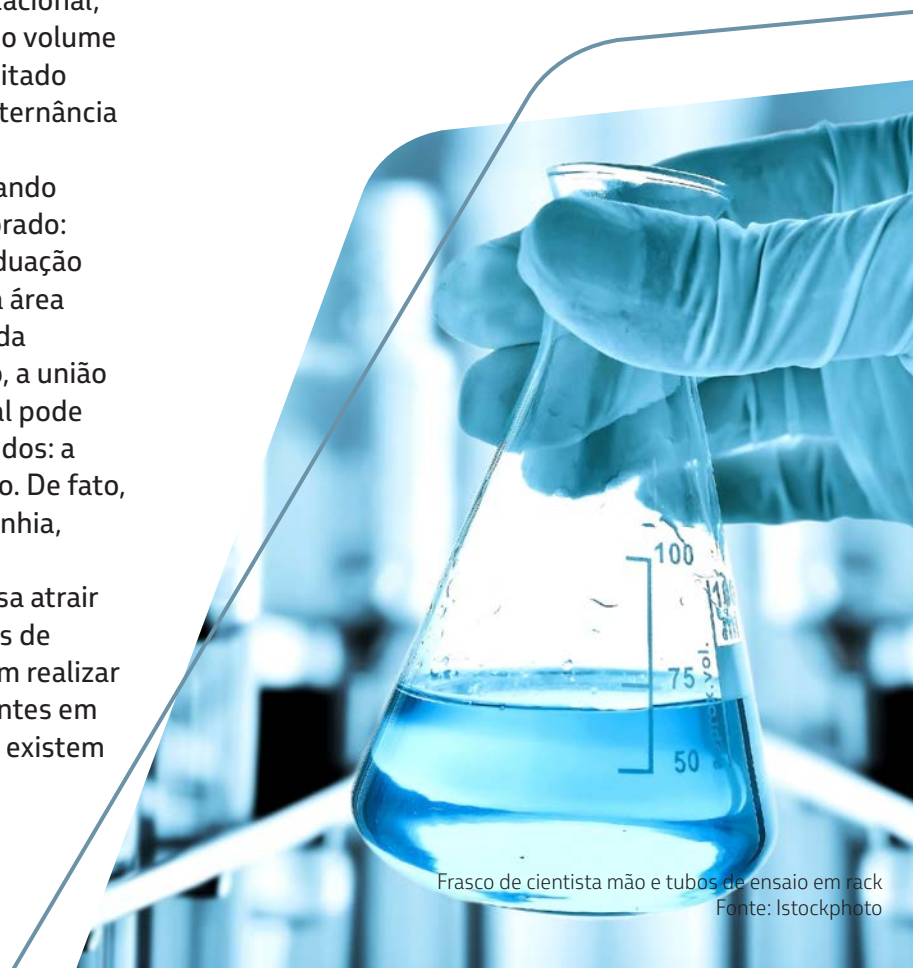
- treinamento através de minicursos sobre noções de tratamento de água ou de efluentes: visa familiarizar tecnicamente os técnicos da unidade-cliente sobre esses processos antes e durante o andamento do STE. Esse treinamento pode ser direcionado para qualquer componente da força de trabalho da unidade-cliente que quiser se ambientar em relação ao serviço e ao tema, visto que a sua duração e complexidade serão menores que o treinamento citado anteriormente,
- relacionadas com a UP;
 - aumentar a quantidade de estagiários de engenharia: visa aumentar a capacidade produtiva do serviço técnico-educacional, necessidade decorrente do elevado volume de demandas, além de atenuar o citado problema de descontinuidade e alternância dos estagiários da equipe,
 - convênio com universidades buscando estudantes de mestrado ou doutorado: visa atrair estudantes de pós-graduação que desejem realizar pesquisas na área de água e efluentes em unidades da empresa, uma vez que, nesse caso, a união da área acadêmica com a industrial pode ser benéfica para todos os envolvidos: a Petrobras, a universidade e o aluno. De fato, essa prática já é comum na companhia,
 - convênio com universidades para bolsistas de iniciação científica: visa atrair estudantes de graduação bolsistas de iniciação científica (IC) que desejem realizar pesquisas na área de água e efluentes em unidades da empresa. Também, já existem precedentes na companhia.

4 CONCLUSÃO

A avaliação dos trabalhos de serviço técnico-educacional nas áreas de águas e efluentes da UP foi realizada com base na seleção dos principais casos em que elas foram prestadas. Para tanto, foram adotadas características, que buscaram representar os aspectos mais relevantes de cada serviço, como a relação entre a UP e a unidade-cliente, o perfil técnico da unidade-cliente e o tipo de produto entregue.

Dessas características, destacam-se o canal da demanda, os ganhos esperados e as dificuldades encontradas. Sobre o primeiro, verificou-se que as principais formas pelas quais a demanda ocorre são através do conhecimento prévio e dos cursos e eventos da UP.

Dos ganhos esperados estão os econômicos, os ambientais e os ligados ao atendimento à legislação. Do primeiro, destacam-se a redução de custos operacionais e a melhoria da qualidade dos projetos desenvolvidos por empresas contratadas.



Frasco de cientista mão e tubos de ensaio em rack
Fonte: Istockphoto

As dificuldades encontradas estão relacionadas com a unidade-cliente e com a UP. Sobre a primeira destacam-se: carência de conhecimento técnico, empresas contratadas sem perfil adequado, técnicos da equipe de projeto da empresa contratada sem perfil adequado e facilitadores de campo com dificuldades para acompanhamento e dificuldades da unidade em proceder às alterações necessárias para o prosseguimento do trabalho. Da UP, as dificuldades foram equipe reduzida e propensa à descontinuidade.

Essas características avaliadas serviram de base para subsidiar uma série de proposições, algumas relacionados com a unidade-cliente, como: treinamentos nas áreas de águas e efluentes utilizando a Metodologia 6D, orientação sobre a empresa de projeto a ser contratada e a equipe técnica da mesma e outros. Das proposições relacionadas com a UP destacam-se a criação de convênios com universidades buscando estudantes de mestrado ou doutorado e bolsistas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

PETROBRAS. **Relatório de visita técnica – Projeto Manati / Ponta do Ferrolho – Rev. 1.** Salvador: RH/UP/EGL, 2006a.

_____. **Sistema de esgotamento sanitário do Terminal de Barra do Riacho. Avaliação do conjunto fossa-filtro do refeitório – Relatório 1 – Parecer Técnico.** Salvador: RH/UP/EGL, 2016b.

_____. **Avaliação do processo de produção de água clarificada da U 52-A, RLAM – Relatório 1 – Diagnóstico operacional.** Salvador: RH/UP/EGL, 2016c.

_____. **Considerações sobre a eficiência operacional do sistema de tratamento biológico da ETDI da REFAP – Rev. 0. Parte 1/2 – Lagoa aerada (BAE).** Salvador: RH/UP/EGL, 2006d.

_____. **Considerações sobre o sistema de tratamento biológico de efluentes líquidos da REFAP – Rev. 0 – Relatório 2 – BAE.** Salvador: RH/UP/EGL, 2007e.

_____. **Operação e monitoramento de estações de tratamento de esgotos sanitários com processo de lodos ativados.** Salvador: RH/UP/EGL, 2007f. 34 slides.

_____. **Projeto de otimização da Estação de Tratamento de Água Industrial do Terminal de Cabiúnas – Relatório de Andamento 1.** Salvador: RH/UP/EGL, 2015g.

_____. **Relatório 2 – Estudo de aproveitamento de águas pluviais na preparação de fluidos de completação. Volume 2 – Caracterização das águas pluviais – Rev. 0.** Salvador: RH/UP/EGL, 2008.

_____. **Sistema de Abastecimento de Água de Buracica – Relatório 1 – Parecer Técnico.** Salvador: RH/UP/EGL, 2016h.

_____. **Sistema de Abastecimento de Água de Miranga – Relatório 1 – Parecer Técnico.** Salvador: RH/UP/EGL, 2016i.

_____. **Sistema de Abastecimento de Água de Taquipe – Relatório 1 – Diagnóstico Operacional –** Salvador: RH/UP/EGL, 2015j.

_____. **Sistema de Abastecimento de Água de Taquipe – Relatório 2A – Projeto Conceitual do Sistema de Tratamento e Reuso da água de retrolavagem dos filtros.** Salvador: RH/UP/EGL, 2016k.

_____. **Sistema de Abastecimento de Água de Taquipe – Relatório 2B – Projeto Conceitual do novo arranjo do sistema e avaliação da necessidade de coágulo-floculação.** Salvador: RH/UP/EGL, 2016l.

_____. **Sistema de Abastecimento de Água de Taquipe – Relatório 3A – Parecer Técnico sobre o projeto básico.** Salvador: RH/UP/EGL, 2016m.



Albérico Ricardo Passos da Motta

Graduação em Engenharia Civil (1980) e Engenharia Sanitária (1985) pela UFBA. Mestrado (1994) em Engenharia Ambiental pela University of Newcastle. Doutorado (2014) em Engenharia Industrial pela UFBA. Petrobras. RH/UP/EGL – Salvador, BA – E-mail: arpmotta@petrobras.com.br.



Sandra Marinho de Souza

Graduação (1989) em Administração de Empresas pela UFBA. Mestrado (2005) em Administração Estratégica pela UNIFACS. Petrobras. RH/UP/EGL – Salvador, BA – E-mail: sandramarinho@petrobras.com.br.



José Erasmo de Souza Filho

Graduação (1978) em Engenharia Química pela UFPB. Mestrado (1996) em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFPB. Petrobras. RH/UP/EEDP – Salvador, BA – E-mail: jesf@petrobras.com.br.

Thais Matos Resende

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela UNIFACS. Petrobras. RH/UP/EGL – Salvador, BA – E-mail: thaisresende. ESTUDANTE@petrobras.com.br.

DESEMPENHO AO FOGO DE PILARES DE AÇO E MISTOS AÇO E CONCRETO PARA UTILIZAÇÃO EM REFINARIAS DE PETRÓLEO

Thiago da Cruz Colonese





RESUMO

Este artigo tem por objetivo avaliar o desempenho termomecânico sob incêndio de diferentes tipologias de pilares de aço e mistos visando aplicação em estruturas industriais de refinarias de petróleo. No caso dos pilares mistos, empregou-se, além do concreto convencional de cimento Portland, o concreto refratário de cimento aluminoso, por ser um material de elevado desempenho sob altas temperaturas (em comparação ao concreto convencional) e com o intuito de estimar o benefício quando da sua utilização. As análises numéricas realizadas, utilizando o programa computacional SAFIR, permitiram estimar a variação do campo de temperaturas nas seções transversais estudadas, o comportamento termomecânico dos pilares isolados durante o incêndio e o tempo de falha estrutural para um carregamento correspondente a 50% da resistência à temperatura ambiente. Para obter a variação dos esforços resistentes durante o incêndio, fez-se uso dos procedimentos analíticos de cálculo estabelecidos pela NBR 14323:2013. Os resultados obtidos indicaram que os pilares mistos totalmente revestidos por concreto refratário apresentaram melhor desempenho tanto durante o incêndio quanto nas resistências residuais.

Palavras-chaves: Pilares. Incêndio. Refinarias de Petróleo.

ABSTRACT

This paper evaluates the thermo-mechanical performance under fire of different types of steel and composite columns for application in industrial structures of oil refineries. In the evaluation of composite columns were used in addition to conventional Portland cement concrete, the aluminous refractory concrete, as a material of high performance at elevated temperatures (compared to conventional concrete) and in order to estimate the benefit to use it. The numerical analysis performed using the computer program SAFIR, allowed to estimate the variation of the temperature field in the cross-sections studied, the thermo-mechanical behavior of the isolated elements during fire and the time of structural failure for a loading equal to 50% of the resistance at room temperature. The variation of the structural resistance of the columns, during fire, was calculated according to analytical procedures presented in NBR 14323:2013. The results indicated that the composite columns covered by refractory concrete presented better performance both during fire as residual resistance.

Keywords: Columns. Fire. Oil Refineries.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, nas refinarias nacionais, as estruturas de aço que suportam equipamentos e tubulações, quando situadas em áreas sujeitas a incêndio, têm seus elementos protegidos contra o fogo através da aplicação de argamassa de cimento *Portland* ou concreto refratário, sendo que em ambos os casos a espessura do revestimento deve ser de 50 mm.

A aplicação desses materiais requer a utilização de dispositivos de ancoragem, tais como telas e grampos, a fim de garantir tanto a aderência mecânica entre o aço e o revestimento como a integridade da proteção durante o incêndio.

Todavia, a sua aplicação é trabalhosa e demorada, pois os grampos devem ser soldados, as telas de ancoragem devem envolver todo o elemento a ser protegido e a moldagem do revestimento requer grandes quantidades de recortes das formas. O processo de desmoldagem requer cuidados especiais para evitar danos ao material de isolamento, como os mostrados na Figura 1.

Figura 1 - Exemplos de danos no fireproofing de estruturas industriais.



Fonte: CENTER, 2010.

Visando racionalizar o uso dos materiais existentes, a utilização de elementos mistos pode apresentar eficiência significativa. A ideia de associar o concreto ao aço tinha como objetivo proteger o aço contra a corrosão e fogo de forma simples e com baixo custo, sem levar em consideração a contribuição do concreto na capacidade resistente do elemento estrutural.

Todavia, os sistemas estruturais formados por elementos mistos de aço e concreto vêm sendo utilizados mundo afora nos projetos de edifícios residenciais e comerciais e, em função dos avanços tecnológicos observados nas últimas décadas tanto no concreto quanto no aço, essa tendência deverá ser ampliada ainda mais nos diversos ramos da construção civil.

A utilização de elementos mistos, considerando a capacidade resistente tanto do concreto armado como do aço, possibilita a redução das dimensões da seção transversal e o aproveitamento das vantagens econômicas, construtivas e estruturais intrínsecas a cada um dos materiais.

Entre as vantagens dos elementos mistos, destacam-se a redução no consumo de aço estrutural, o aumento da rigidez global e a proteção contra a corrosão e fogo. Adicionalmente, caso o concreto seja de elevada performance a altas temperaturas, a integridade estrutural do aço poderá permanecer inalterada durante todo o incêndio.

Assim, a competitividade dos elementos mistos de aço e concreto em ambientes industriais está fundamentada na possibilidade de redução do prazo de execução, no desempenho satisfatório sob condições de incêndio e no tempo de reparo diminuto.

O presente artigo tem por finalidade avaliar o desempenho termomecânico sob incêndio de diferentes tipologias de pilares de aço e mistos (aço-concreto) para aplicação em estruturas de refinarias de petróleo, conforme as recomendações normativas vigentes sobre o tema.

Nos pilares mistos empregou-se, além do concreto convencional de cimento *Portland*, o concreto refratário de cimento aluminoso, por ser um material de elevada performance a altas

temperaturas (em comparação ao concreto convencional) e com o intuito de estimar o benefício quando da sua utilização. A resistência estrutural dos pilares em situação de incêndio será determinada de acordo com a NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO, 2013).

O programa computacional SAFIR (FRANSSEN; KODUR; MASON, 2008) será utilizado para estimar a variação do campo de temperaturas nas seções transversais e o tempo de falha estrutural dos pilares isolados durante o incêndio.

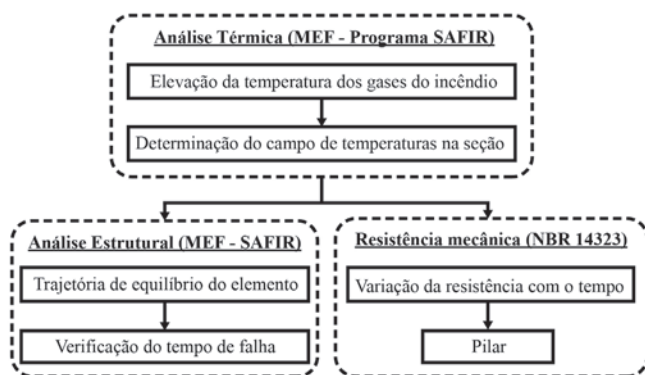
2 METODOLOGIA

2.1 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

A Figura 2 apresenta o procedimento empregado para avaliar o desempenho termomecânico dos pilares de aço e mistos em situação de incêndio. A primeira etapa consiste em obter a distribuição do campo de temperaturas nas seções transversais dos elementos (análise térmica transiente).

A etapa seguinte consiste em (i) obter o tempo de falha estrutural dos elementos isolados para um carregamento correspondente a 50% da resistência à temperatura ambiente (análise estrutural) e (ii) determinar a variação do esforço resistente com o tempo transcorrido de incêndio.

Figura 2 - Metodologia de análise termomecânica.

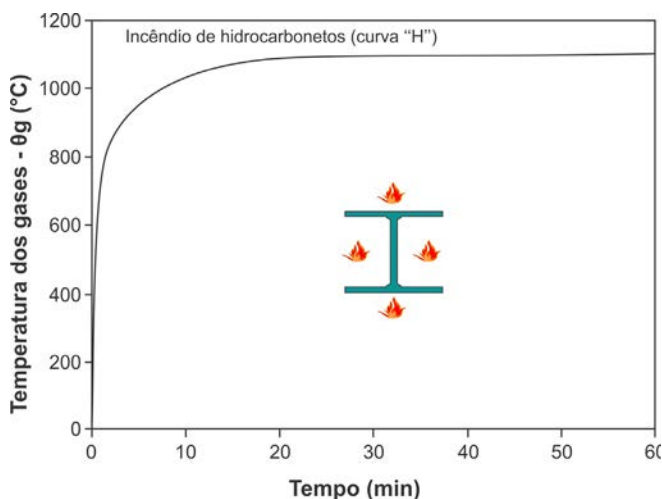


Fonte: O AUTOR, 2011.

As análises térmicas foram desenvolvidas considerando todas as faces da seção

transversal dos pilares expostas ao incêndio de hidrocarbonetos (curva "H"), por se tratarem de elementos para aplicação em estruturas industriais de refinarias de petróleo. A Figura 3 contempla a curva de incêndio utilizada no estudo.

Figura 3 - Curva de incêndio de hidrocarbonetos.



Fonte: EUROPEAN, 2002.

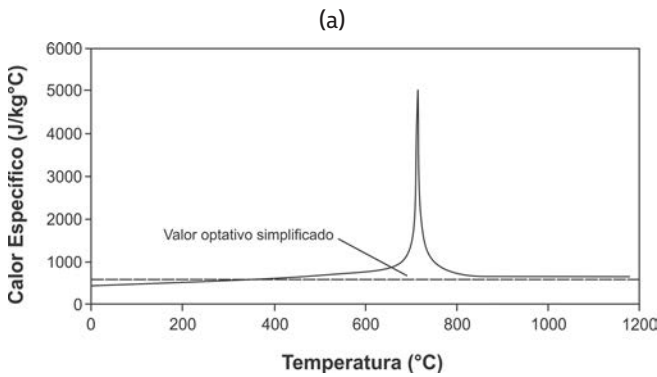
2.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS E MECÂNICAS DOS MATERIAIS

As propriedades térmicas e mecânicas não lineares do aço e concreto convencional (CC), em temperaturas elevadas, estão de acordo com os seguintes códigos normativos: NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO, 2013), EC-2/Parte 1-2 (EUROPEAN, 2003^a), EC-3/Parte 1-2 (EUROPEAN, 2003c) e EC-4/Parte 1-2 (EUROPEAN, 2003b).

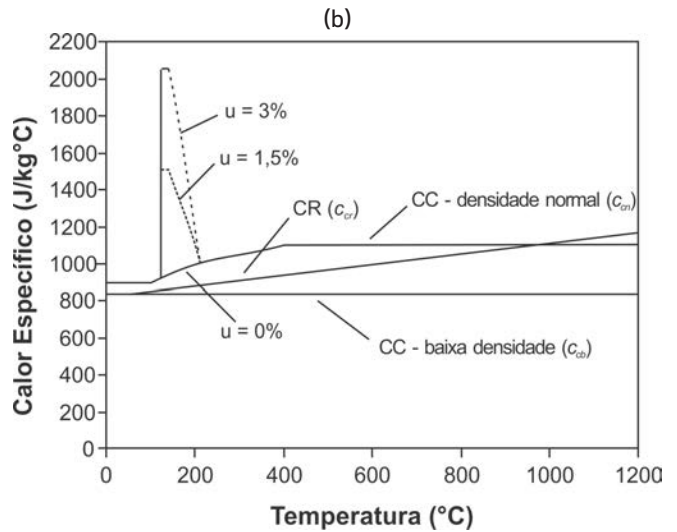
Além disso, tais propriedades encontram-se incorporadas no programa computacional SAFIR (FRANSSEN; KODUR; MASON, 2008) e, portanto, foram utilizadas de forma direta nas análises térmica e estrutural.

Entretanto, para o concreto refratário (CR), as propriedades adotadas foram as disponíveis em Bazant e Kaplan (1996) e, quando necessário, foram feitas interpolações lineares com os valores encontrados. Gráficos 1 (a) e (b) apresentam o calor específico do aço e dos concretos convencional e refratário em função da temperatura, enquanto os Gráficos 2 (a) e (b) ilustram a condutividade térmica.

Gráfico 1 - Calor específico em função da temperatura: (a) aço e (b) CC e CR.

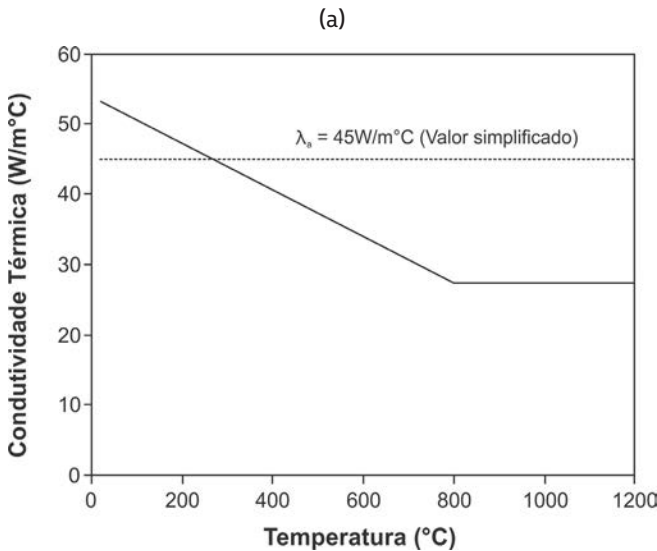


Fonte: EUROPEAN, 2003c.

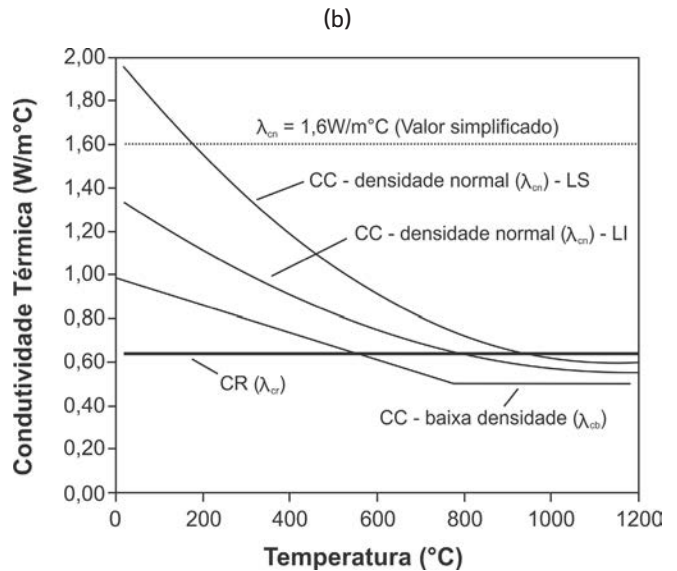


Fonte: O AUTOR, 2011.

Gráfico 2 - Condutividade térmica em função da temperatura: (a) aço e (b) CC e CR.



Fonte: EUROPEAN, 2003c.



Fonte: O AUTOR, 2011.

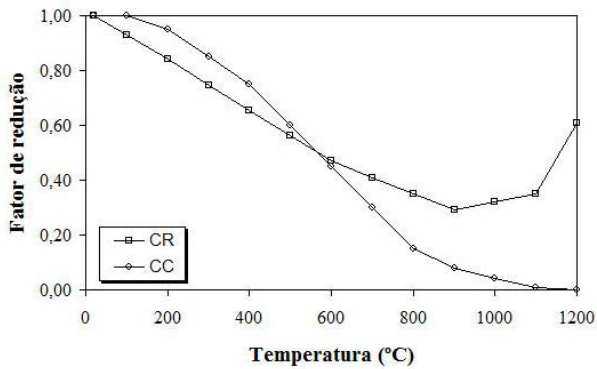
Em virtude de não se terem disponíveis as propriedades térmicas da argamassa (ARG), adotaram-se as propriedades do concreto de baixa densidade estabelecidas pelo Eurocódigo 4 (EUROPEAN, 2003b), embora a condutividade térmica da argamassa de cimento *Portland* seja maior que a do concreto de baixa densidade. Na prática, as elevações da temperatura nas seções metálicas revestidas por argamassa serão maiores que as estimadas através desta consideração.

Na avaliação do desempenho termomecânico empregaram-se os seguintes tipos de concreto:

convencional de densidade normal com agregados silicosos (EUROPEAN, 2003a) e refratário aluminoso com agregados de chamotas (BAZANT; KAPLAN, 1996).

As variações da resistência à compressão com a temperatura, tanto do concreto refratário aluminoso (agregados de chamotas) como do convencional com agregados silicosos, encontram-se ilustradas no Gráfico 3 por meio dos fatores de redução.

Gráfico 3 - Fatores de redução da resistência à compressão do concreto convencional e refratário aluminoso.

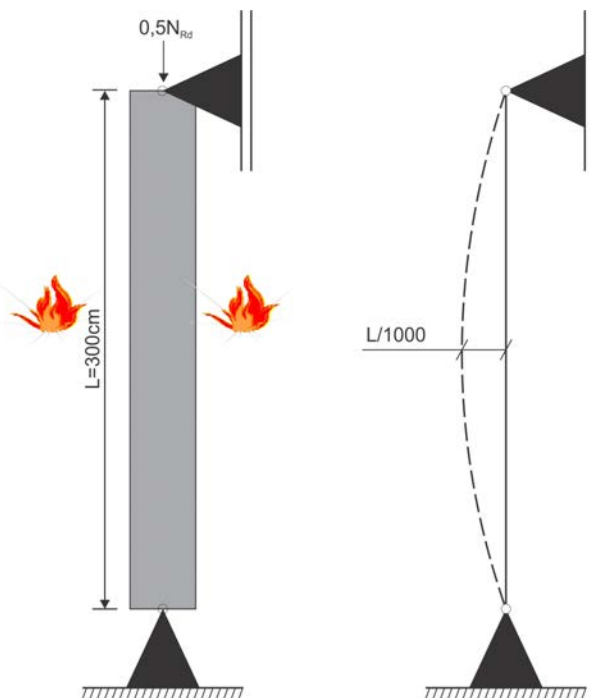


Fonte: O AUTOR, 2011.

2.3 MODELO ESTRUTURAL

O modelo estrutural adotado encontra-se ilustrado na Figura 4. Em todos os pilares, considerou-se uma imperfeição geométrica inicial, δ_0 , igual a $L/1000$. A carga aplicada no topo corresponde a 50% da força axial de compressão resistente de cálculo à temperatura ambiente ($0,5 N_{Rd}$). A simulação numérica dos pilares mistos e de aço foi feita discretizando-os em 10 elementos finitos de viga-coluna e considerando um intervalo de tempo, Δt , igual a 30 segundos.

Figura 4 - Modelo estrutural do pilar com imperfeição geométrica inicial sob ação de carga estática e do fogo.



Fonte: O AUTOR, 2011.

2.4 TIPOLOGIAS PROPOSTAS

A configuração da seção transversal dos pilares foi escolhida de forma que os valores das suas forças axiais resistentes de cálculo à plastificação total ($N_{pl,Rd}$) fossem similares, tomando como base uma seção transversal em aço (HP 250 x 85) usualmente empregada nas estruturas de refinarias de petróleo.

Além disso, a geometria da seção transversal foi definida de modo a atender os requisitos normativos estabelecidos pelas normas NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO, 2008) e NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO, 2013), as quais tratam do dimensionamento de pilares à temperatura ambiente e em situação de incêndio, respectivamente.

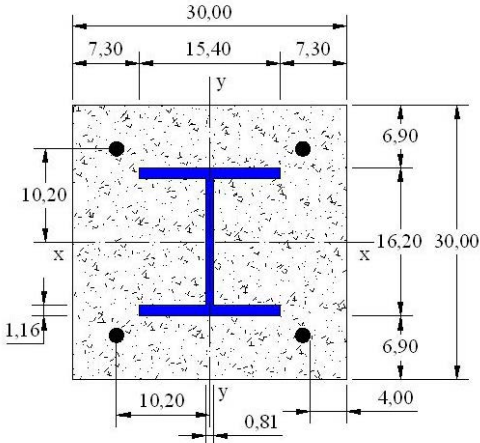
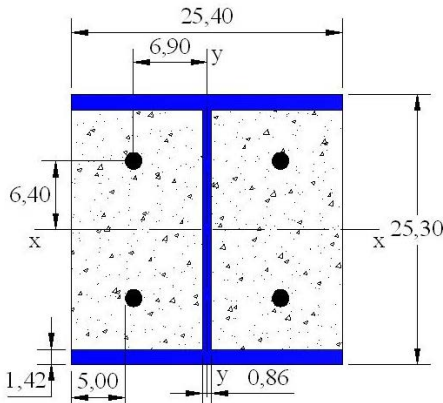
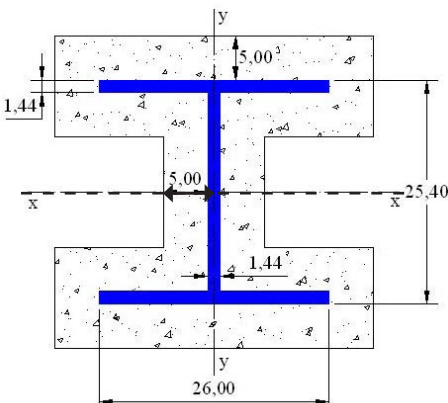
O módulo de elasticidade do aço estrutural e das barras da armadura, E_a , foi tomado igual a 205 GPa. Adotou-se, para as barras da armadura, o aço CA-50, cuja resistência ao escoamento, f_s , é igual a 500 MPa. Os aços estruturais adotados para os perfis são: (i) ASTM A36 ($f_s = 250$ MPa), (ii) ASTM A572 Gr 50 ($f_s = 345$ MPa), (iii) VMB 300 ($f_s = 300$ MPa) e (iv) VMB 350 ($f_s = 350$ MPa).

Em cada seção transversal mista foram adotados dois tipos de concreto: convencional de densidade normal com agregados silicosos (EUROPEAN, 2003a) e refratário aluminoso com agregados de chamotas (BAZANT; KAPLAN, 1996).

Para ambos os concretos, adotou-se uma única resistência característica à compressão (f_{ck}) de valor igual a 30 MPa e a massa específica, para o cálculo do peso próprio, foi tomada igual a 2300 kg/m³ (EUROPEAN, 2003a). A massa específica do *fireproofing* foi tomada igual a 1800 kg/m³ para a determinação do peso próprio dos pilares de aço protegidos.

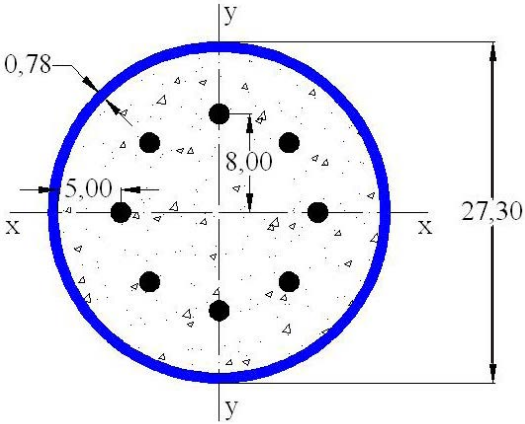
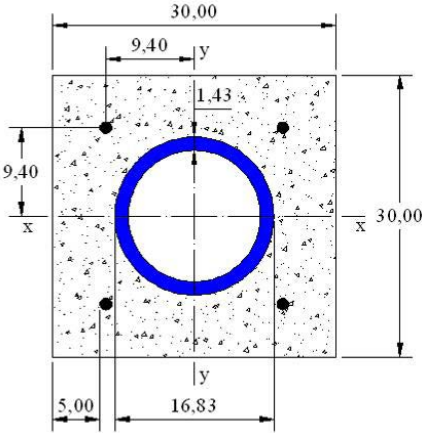
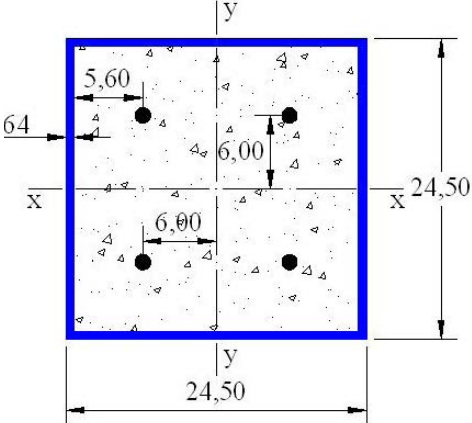
Os Quadros 1 e 2 apresentam, respectivamente, as características das seções transversais dos pilares formados por perfis H e dos formados por perfis tubulares.

Quadro 1 - Características das seções transversais dos pilares formados por perfis H.

Seção	Geometria (dimensões: cm)	Propriedades
<p>Pilar misto formado por perfil de aço totalmente revestido com concreto (PM_PTR)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Perfil: W 150 x 37,1 • $\varnothing_{\text{barra}} = 16 \text{ mm}$ • ASTM A572 Gr 50 • $N_{\text{pl,Rd}} = 3386 \text{ kN}$ • $P_{\text{linear}} = 2,31 \text{ kN/m}$
<p>Pilar misto formado por perfil de aço parcialmente revestido com concreto (PM_PPR)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Perfil: W 250 x 73 • $\varnothing_{\text{barra}} = 16 \text{ mm}$ • ASTM A36 • $N_{\text{pl,Rd}} = 3443 \text{ kN}$ • $P_{\text{linear}} = 2,0 \text{ kN/m}$
<p>Pilar de aço formado por perfil revestido com fireproofing (PA_PRF)</p>	<p>(dimensões em cm)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Perfil: HP 250 x 85 • ASTM A572 Gr 50 • $N_{\text{pl,Rd}} = 3403 \text{ kN}$ • $P_{\text{linear}} = 2,40 \text{ kN/m}$

Fonte: O AUTOR, 2011.

Quadro 2 - Características das seções transversais dos pilares formados por perfis tubulares.

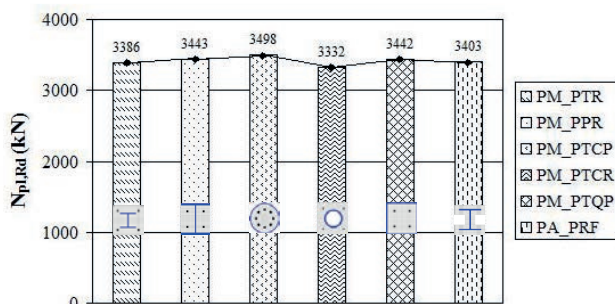
Seção	Geometria (dimensões: cm)	Propriedades
<p>Pilar misto formado por perfil tubular circular de aço preenchido com concreto (PM_PTCP)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Perfil: D = 27,3 cm • \varnothing barra = 16 mm • VMB 300 • $N_{pl,Rd} = 3498$ kN • $P_{linear} = 1,67$ kN/m
<p>Pilar misto formado por perfil tubular circular de aço revestido com concreto (PM_PTCR)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Perfil: D = 16,83 cm • \varnothing barra = 12,5 mm • VMB 300 • $N_{pl,Rd} = 3332$ kN • $P_{linear} = 2,1$ kN/m
<p>Pilar misto formado por perfil tubular quadrado de aço preenchido com concreto (PM_PTQP)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Perfil: b = 24,5 cm • \varnothing barra = 12,5 mm • VMB 350 • $N_{pl,Rd} = 3442$ kN • $P_{linear} = 1,8$ kN/m

Fonte: O AUTOR, 2011.

O Gráfico 4 contempla os valores das forças axiais resistentes de cálculo à plastificação total das seções transversais propostas. Observa-se que as forças de cada tipologia possuem a mesma ordem de grandeza.

As maiores variações encontradas, tomando como base o pilar de aço revestido com *fireproofing* (PA_PRF), são da ordem de +2,8% para o pilar PM_PTCP e -2,1% para o pilar PM_PTCR.

Gráfico 4 - Forças axiais resistentes à plastificação total das seções transversais.



Fonte: O AUTOR, 2011.

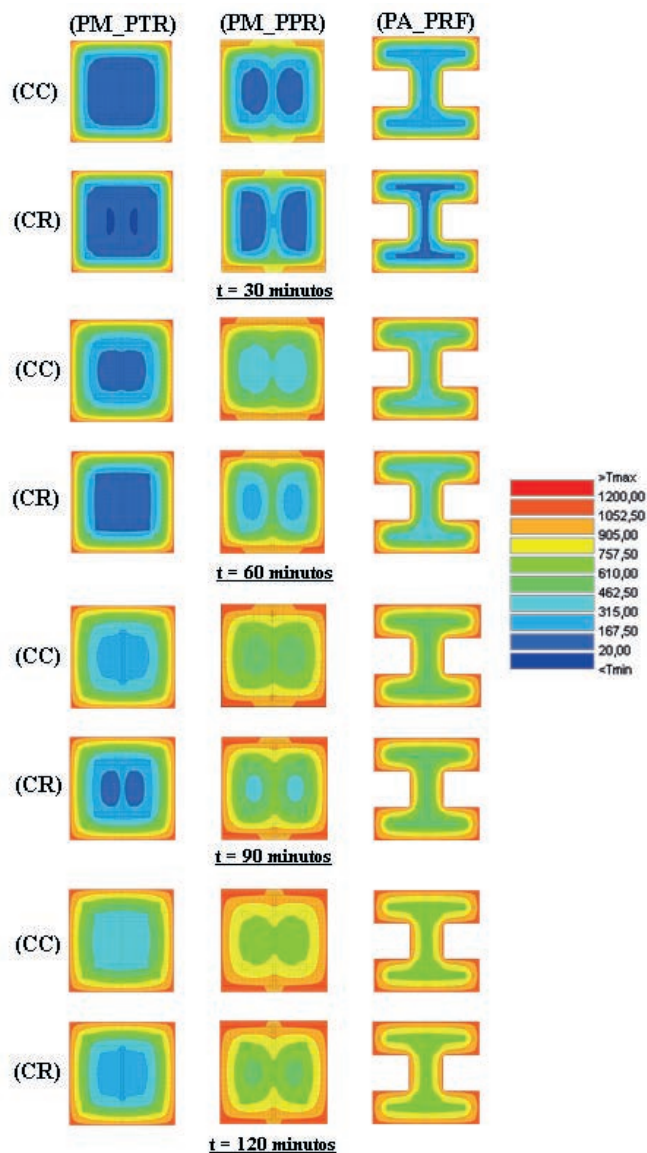
Cabe ressaltar que a resistência mecânica do *fireproofing* não é considerada na determinação da capacidade resistente do elemento protegido, assumindo somente a função de isolamento térmico.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 DOMÍNIO DA TEMPERATURA

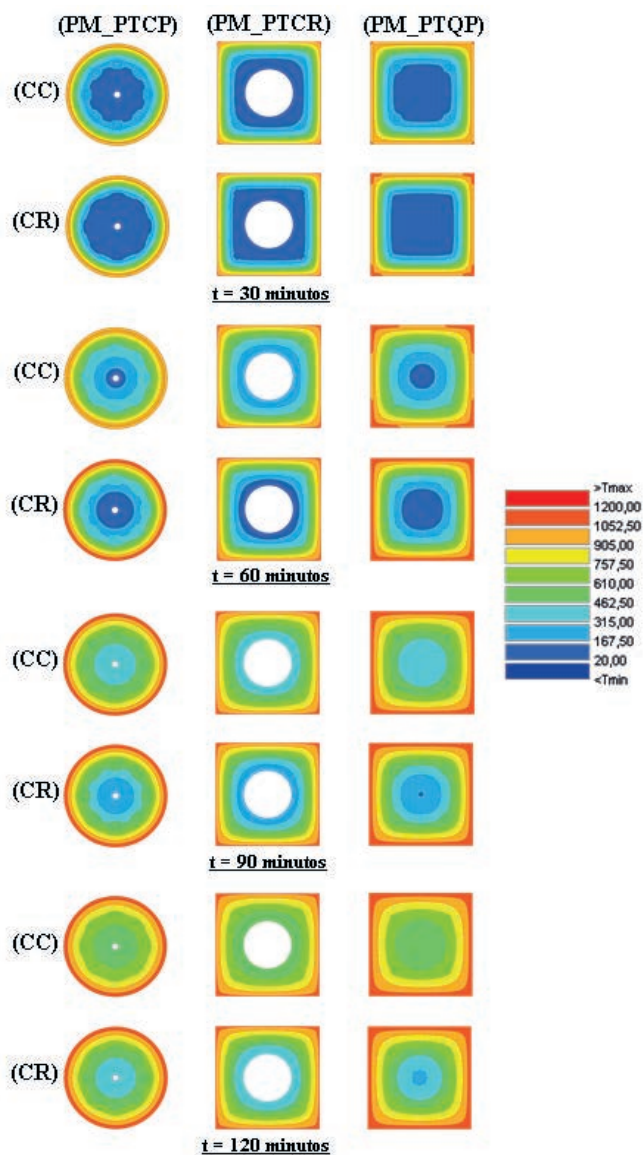
As distribuições do campo de temperaturas nas seções transversais formadas por perfis H e tubulares estão presentes nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

Figura 5 - Distribuição do campo de temperaturas nas seções dos pilares formados por perfis H.



Fonte: O AUTOR, 2013.

Figura 6 - Distribuição do campo de temperaturas nas seções dos pilares formados por perfis tubulares.



Fonte: O AUTOR, 2013.

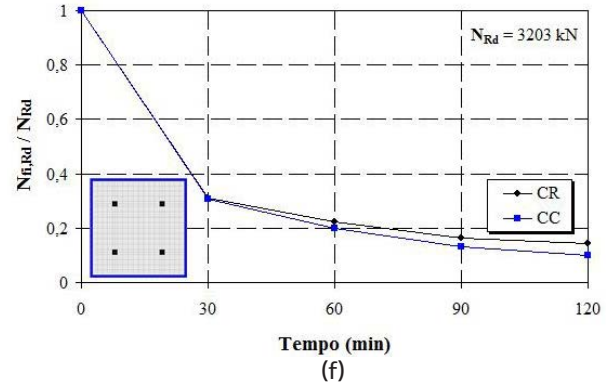
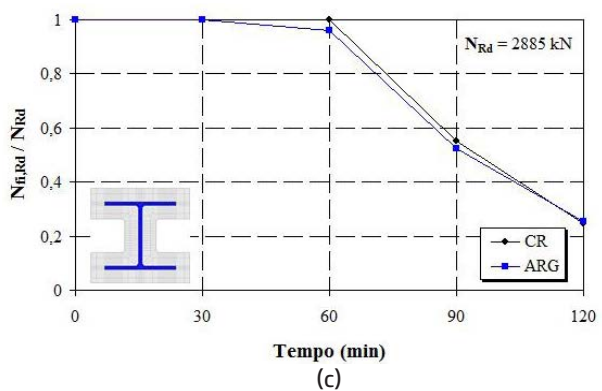
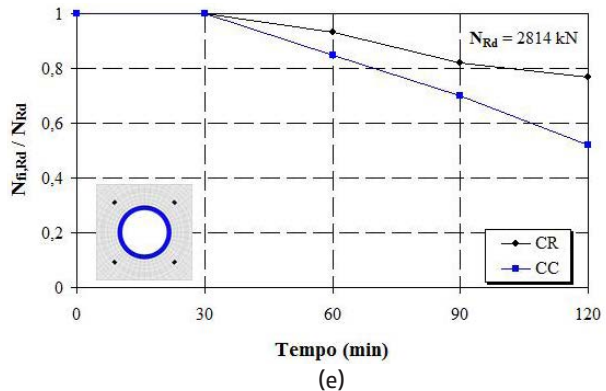
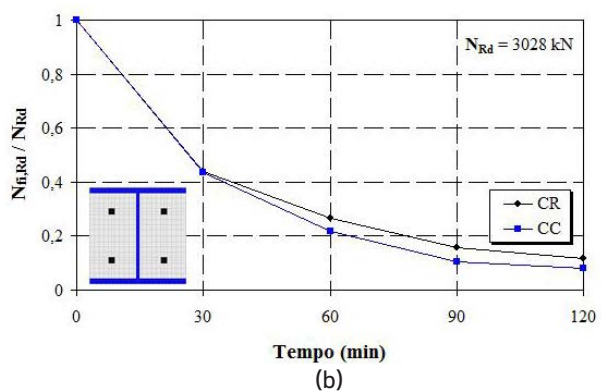
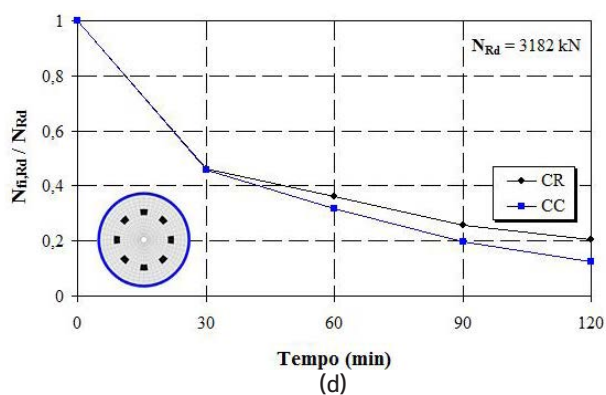
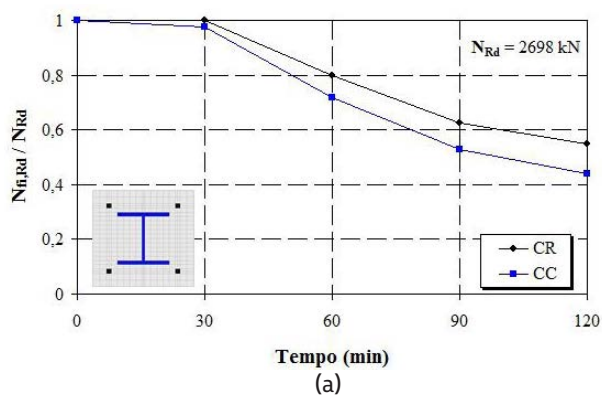
A partir da observação dos resultados apresentados acima, destaca-se que: (i) os núcleos das seções dos pilares mistos compostos por CR apresentam temperaturas inferiores aos dos pilares compostos por CC, visto que as propriedades térmicas do CR são melhores quando comparadas com as do CC; (ii) em relação ao pilar de aço revestido por *fireproofing* (PA_PRF), as variações dos campos de temperaturas da seção revestida por ARG e CR não apresentam diferenças significativas, uma vez que as propriedades térmicas adotadas para estes dois materiais são similares.

3.2 RESPOSTA TERMOMECÂNICA

3.2.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA EM FUNÇÃO DO TEMPO

As variações da resistência à compressão axial dos pilares formados por perfis H e tubulares estão ilustradas nos Gráficos 5 (a - f).

Gráfico 5 - Variação da resistência à compressão axial normalizada dos pilares: (a) PM_PTR, (b) PM_PPR, (c) PA_PRF, (d) PM_PTCP, (e) PM_PTCR e (f) PM_PTQP.



Fonte: O AUTOR, 2013.

No instante de tempo igual a 120 minutos, a resistência do pilar PM_PTR é da ordem de 44%, para o CC, e 55%, para o CR, da sua resistência à temperatura ambiente, conforme ilustrado no Gráfico 5 (a).

O pilar de aço revestido por *fireproofing* (PA_PRF), embora preserve a sua resistência à temperatura ambiente durante 60 minutos (Gráfico 5(c)), apresenta, para o tempo de 120 minutos, 25% da resistência à temperatura ambiente (para ambos os revestimentos).

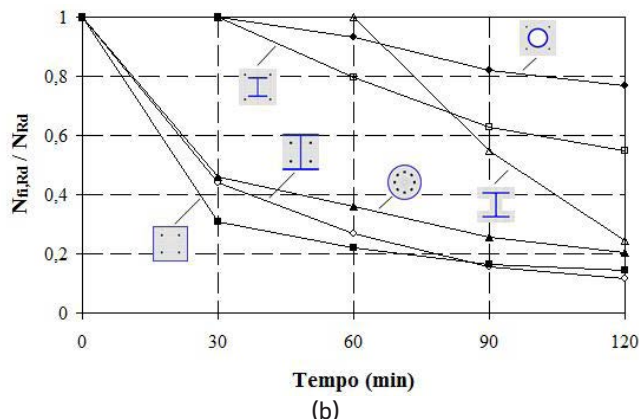
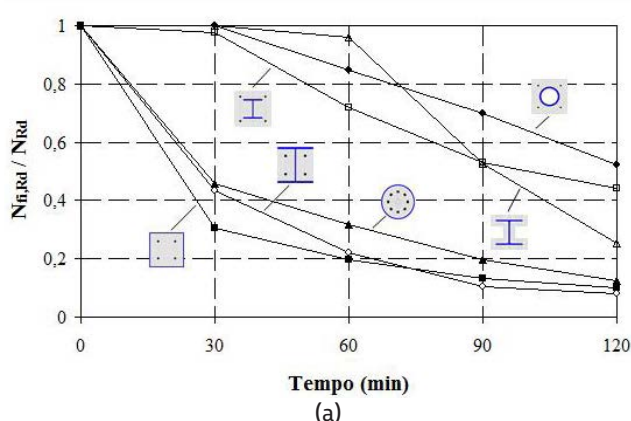
Os pilares mistos PM_PPR, PM_PTCT e PM_PTQP (Figuras 11 (b), (d) e (f)) sofrem perda de resistência e rigidez de forma severa nos instantes iniciais (30 min.) e as suas resistências, depois de transcorrido 120 minutos, são inferiores, tanto para o CC como o CR, a 20% da estabelecida em temperatura ambiente.

Observando o Gráfico 5(e), nota-se que o pilar PM_PTCT composto por CR apresenta melhor desempenho tanto durante o incêndio quanto na

resistência aos 120 minutos, pois a redução ocorre de forma gradual e conserva 77% da resistência à temperatura ambiente. De modo geral, os Gráficos 5 (a – f) mostram que o emprego do CR proporcionou ganho de resistência.

O Gráfico 6 (a) e (b) ilustram, de forma resumida, as curvas de redução da resistência à compressão axial dos pilares mistos de aço-CC e do pilar de aço revestido por ARG, bem como dos pilares mistos de aço-CR e do pilar de aço revestido por CR, respectivamente.

Gráfico 6 - Comparação entre os valores da resistência à compressão axial normalizada: (a) pilares mistos de aço-CC e pilar de aço revestido por ARG e (b) pilares mistos de aço-CR e pilar de aço revestido por CR.



Fonte: O AUTOR, 2013.

Observa-se que a redução da resistência à compressão axial dos pilares – cujos perfis de aço estão diretamente expostos ao fogo (PM_PPR, PM_PTCP e PM_PTQP) – ocorre de forma severa durante os 30 minutos iniciais do incêndio postulado ($t = 30$ min.), tanto para o CC como para o CR, pois a seção metálica exposta ao fogo perde resistência e rigidez de forma rápida.

Entretanto, a redução da resistência dos pilares mistos – cujos perfis de aço estão totalmente revestidos por concreto (PM_PTCCR e PM_PTR) – se inicia a partir do instante de tempo igual a 30 minutos, porém, a partir desse período, ela ocorre de forma atenuada durante todo o incêndio.

Com relação ao pilar de aço (PA_PRF) revestido com *fireproofing*, a redução da resistência à compressão axial inicia-se a partir do instante de tempo igual a 60 minutos, quando da utilização do CR. Por outro lado, a partir desse instante, a curva de redução do esforço resistente apresenta, independente do tipo de revestimento, maior inclinação em relação às curvas dos pilares mistos totalmente revestidos por concreto (PM_PTCCR e PM_PTR).

3.2.2 TRAJETÓRIAS DE EQUILÍBRIO

Os Gráficos 7 (a – f) apresentam as trajetórias de equilíbrio do deslocamento transversal (vs. tempo transcorrido de incêndio) a meia altura do vão dos pilares formados por perfis H e tubulares.

De acordo com os Gráficos 7 (a) e (e), observa-se que, depois de transcorridos 90 minutos desde o início do incêndio postulado, ocorre, para o nível de carregamento definido ($0,5 N_{rd}$), a formação de um mecanismo plástico de colapso na região estudada dos pilares PM_PTR e PM_PTCCR compostos por CC, respectivamente.

Entretanto, quando compostos por CR, não ocorre falha estrutural durante os 120 minutos de incêndio. Além disso, nota-se, através dos gráficos dos Gráficos 7 (b) e (c), que nos instantes de tempo iguais a 25 e 70 minutos ocorre falha estrutural nos pilares PM_PPR e PA_PRF, respectivamente.

Para os pilares PM_PTCP e PM_PTQP, nos instantes iniciais do incêndio (*i.e.*, até 3 e 5 minutos, respectivamente), a trajetória de equilíbrio é

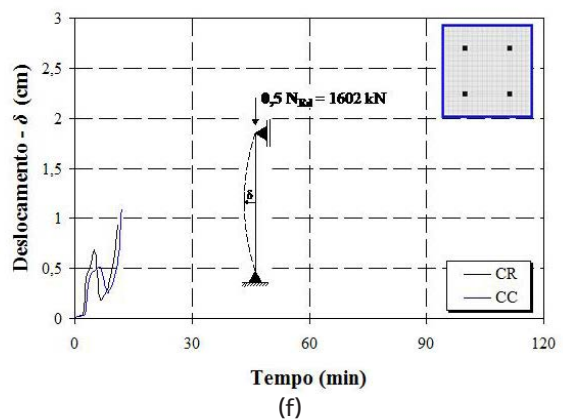
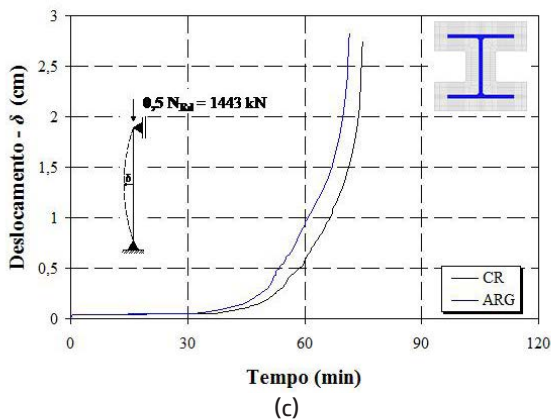
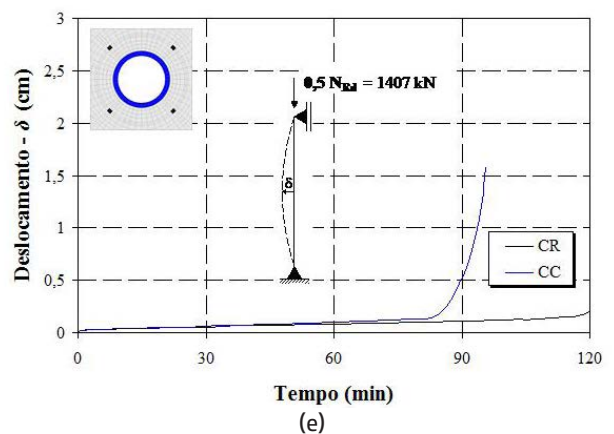
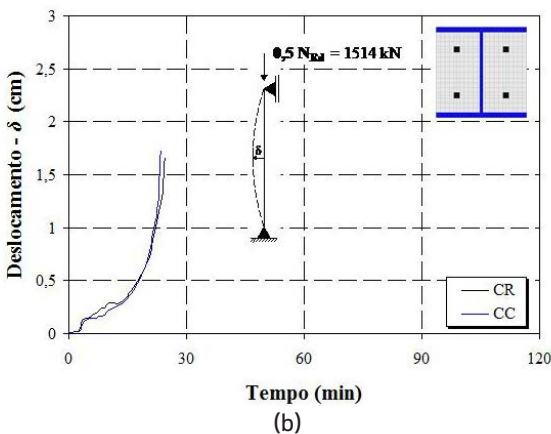
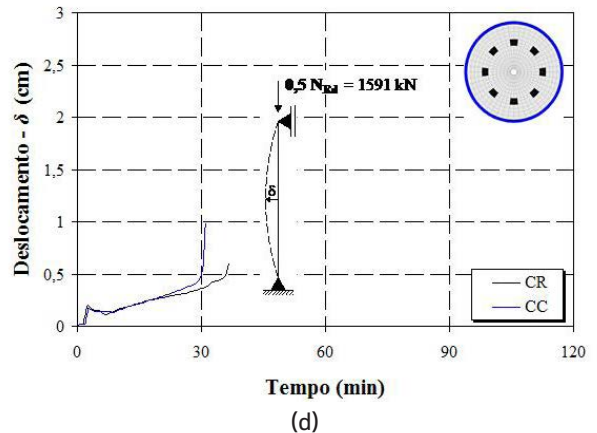
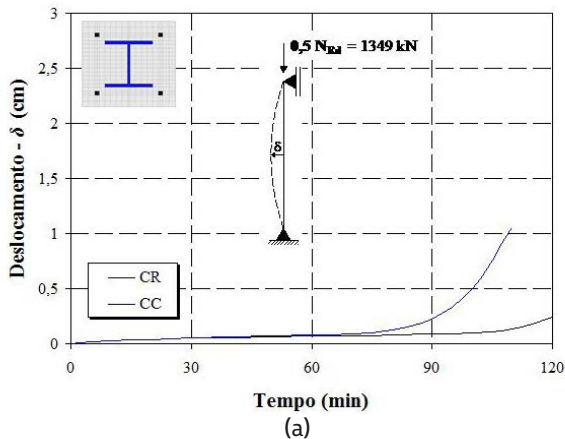
caracterizada pela expansão térmica dos materiais, ocasionando um significativo alongamento axial longitudinal das seções em virtude da exposição direta ao fogo.

Porém, no instante onde o aço atinge temperaturas superiores a 400 °C (10 minutos), ocorre uma significativa erosão de suas propriedades mecânicas (resistência e rigidez), resultando na inversão da

trajetória original que permanece por um curto intervalo de tempo (cerca de 6 e 3 minutos).

Com a recuperação da trajetória original, isto é, com a progressiva redução das propriedades mecânicas dos materiais, o colapso é observado na região estudada nos instantes de tempo iguais a 30 e 12 minutos, respectivamente, conforme apresentado nos Gráficos 7 (d) e (f).

Gráfico 7 - Trajetória de equilíbrio do deslocamento transversal a meia altura do vão dos pilares: (a) PM_PTR, (b) PM_PPR, (c) PA_PRF, (d) PM_PTCP, (e) PM_PTCR e (f) PM_PTQP.

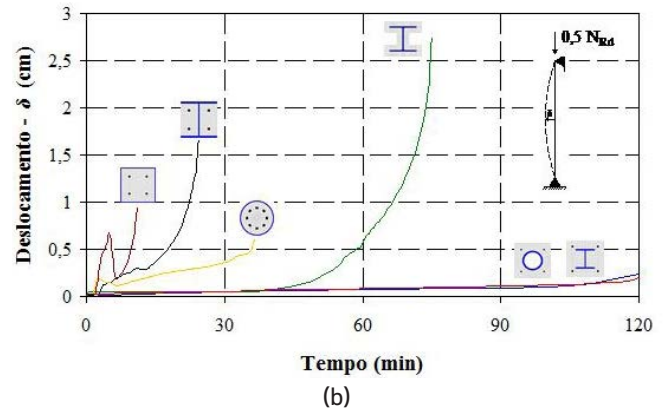
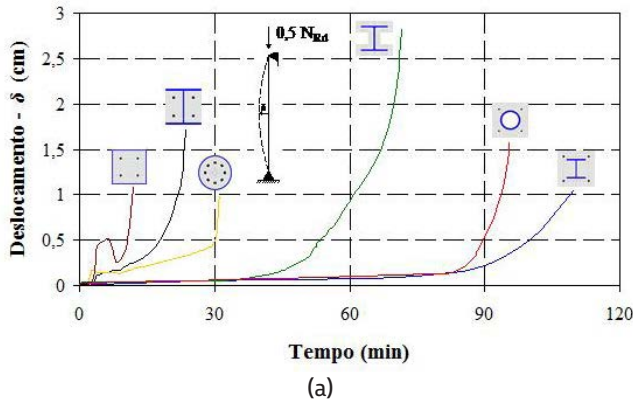


Fonte: O AUTOR, 2013.

Os Gráficos 8 (a) e (b) apresentam, de forma resumida, as trajetórias de equilíbrio do deslocamento transversal (vs. tempo transcorrido de incêndio) a meia altura do vão dos pilares

mistos de aço-CC e do pilar de aço revestido por ARG, assim como dos pilares mistos de aço-CR e do pilar de aço revestido por CR, respectivamente.

Gráfico 8 - Trajetórias de equilíbrio do deslocamento transversal a meia altura do vão: (a) pilares mistos de aço-CC e pilar de aço revestido por ARG e (b) pilares mistos de aço-CR e pilar de aço revestido por CR.



Fonte: O AUTOR, 2013.

Constata-se que, nos pilares cujos perfis de aço estão diretamente expostos ao fogo (PM_PPR, PM_PTCP e PM_PTQP), ocorre, para ambos os concretos, falha estrutural logo nos instantes iniciais do incêndio postulado ($t \leq 30$ min.). Além disso, apenas nos pilares mistos revestidos por CR (PM_PTQR e PM_PTR) não ocorre falha estrutural durante os 120 minutos de incêndio.

4 CONCLUSÕES

Com relação às análises térmicas, como esperado, observou-se que a variação do campo de temperaturas (em função do tempo transcorrido de incêndio) nas seções transversais dos pilares mistos compostos por concreto refratário ocorreu de forma mais lenta em relação às dos compostos por concreto convencional, devido à condutividade térmica do primeiro concreto ser menor que a do segundo. Entretanto, nas seções de aço revestidas por *fireproofing*, os campos de temperaturas variaram de forma similar, uma vez que as propriedades térmicas adotadas para os dois materiais de proteção térmica (argamassa e concreto refratário) possuem a mesma ordem de grandeza.

A camada de concreto refratário das seções dos pilares PM_PTR e PM_PTQR protegeu o perfil metálico de temperaturas superiores a 400 °C durante 120 minutos de incêndio e, conseqüentemente, retardou a degradação das propriedades mecânicas do aço.

Os *fireproofing* do pilar metálico (PA_PRF) retardou a perda de resistência do aço até o instante de tempo igual a 60 minutos ($T < 400$ °C). As temperaturas máximas atingidas pelas seções metálicas diretamente expostas ao fogo (PM_PTCP, PM_PTQP, PM_PPR) foram iguais à temperatura máxima dos gases do incêndio postulado ($T = 1100$ °C).

No que diz respeito à análise estrutural, os pilares de aço e mistos sofreram perda progressiva de resistência durante o incêndio, pois, com a elevação da temperatura, ocorrem variações na estrutura física e química dos materiais. Assim, a resistência à compressão axial dos pilares mistos – cujos perfis de aço estão diretamente expostos ao fogo – foi reduzida de forma severa durante os instantes iniciais do incêndio postulado, em virtude da parcela de resistência do aço praticamente se anular.

Portanto, a resistência estrutural desses pilares durante o incêndio foi governada pela parcela de resistência do concreto. Todavia, nos pilares mistos – cujos perfis de aço estão totalmente revestidos por concreto – as curvas de redução da resistência estrutural apresentaram inclinação suave durante os 120 minutos de incêndio, devido à proteção proporcionada pela camada de concreto ao perfil de aço.

Além disso, nos pilares de aço revestidos com *fireproofing*, a redução do esforço resistente iniciou-se somente depois de transcorrido 60 minutos desde o início do incêndio. Em contrapartida, a partir desse período de tempo, a redução da resistência estrutural ocorreu de forma mais severa em relação às tipologias revestidas por concreto.

No instante de tempo igual a 120 minutos, os pilares PM_PTR e PM_PTCR compostos por concreto refratário conservaram, respectivamente, 55 e 77% da resistência estabelecida à temperatura ambiente.

Nos pilares onde as seções metálicas estão diretamente expostas ao incêndio (PM_PPR, PM_PTCP e PM_PTQP), a resistência à compressão reduziu-se em 80% da estabelecida à temperatura ambiente para ambos os concretos, ao passo que no pilar de aço (PA_PRF) reduziu-se em 75%.

Dessa forma, conclui-se que os pilares mistos, além de proporcionarem diversas vantagens econômicas, construtivas e estruturais, apresentaram, de modo geral, desempenho termomecânico sob incêndio satisfatório.

A utilização do concreto refratário proporcionou benefícios ao desempenho a fogo dos pilares mistos e, portanto, o seu uso poderia ser de grande importância nos projetos cujos requisitos de segurança sejam mais rigorosos.

Dentre os pilares formados por perfis H, o pilar PM_PTR apresenta o melhor desempenho termomecânico sob condições de incêndio, ao passo que o pilar PM_PTCR apresenta o melhor desempenho dentre todas as tipologias propostas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BAZANT, Z. P.; KAPLAN, M. F. **Concrete at high temperatures**: material properties and mathematical models. 1Th. London: **Longman**, 1996.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Process safety beacon**. Disponível em: <<http://www.aiche.org/CCPS/Publications/Beacon/index.aspx>>. Acesso em: 6 maio 2010.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EC-2/Parte 1-2**: actions design of concrete structures: structural fire design. Brussels, 2003a.

_____. **EC-1/Parte 1-2**: actions on structures: actions on structures exposed to fire. Brussels, 2002b.

_____. **EC-4/Parte 1-2**: design of composite steel and concrete structures: structural fire design. Brussels, 2003c.

_____. **EC-3/Parte 1-2**: design of steel structures: structural fire design. Brussels, 2003d.

FRANSEN, J. M.; KODUR, V. K. R.; MASON, J. **User's manual for SAFIR 2007**: a computer program for analysis of structures subjected to fire. Belgium: University of Liège, 2008.



Thiago da Cruz Colonese

Graduação (2007) em Engenharia Civil, ênfase em Estruturas, pela UFRJ. Mestrado (2011) em Engenharia Civil, área de Estruturas e Materiais, pela COPPE/UFRJ. Petrobras. REDUC/EM – Duque de Caxias, RJ – E-mail: thiagocolonese@petrobras.com.br





De Concha doses red-hot aço
Fonte: Istockphoto

DEZ ANOS DE CAPACITAÇÃO EM ENGENHARIA SUBMARINA NA PETROBRAS

Luiz Antonio Sulino de Negreiros
André de Albuquerque Almeida
Eduardo Ribeiro Nicolosi
Juliana Soares Lima
Pablo José Tavares Gomes





RESUMO

Com o aumento das atividades *offshore*, as descobertas em águas cada vez mais profundas e o elevado investimento da Petrobras nesse segmento, houve um acentuado crescimento das demandas técnicas da Área de Engenharia Submarina, tornando imprescindível a criação de um programa de capacitação técnica nessa área. A ideia dessa capacitação inédita no país foi acelerar a formação dos novos empregados, assim como garantir a constante atualização daqueles que já vinham atuando na área, abrangendo o projeto, instalação, operação e integridade de instalações submarinas. O processo de estruturação do Programa de Capacitação Técnica da Área de Engenharia Submarina, conduzido pela Universidade Petrobras e iniciado em 2007, buscou, desde a sua concepção, um alinhamento contínuo com os desafios tecnológicos e as necessidades operacionais da Petrobras. Dessa forma, foi possível se antecipar, no âmbito da capacitação dos profissionais, aos desafios enfrentados pela companhia. Além do ganho direto com a formação dos profissionais, esse programa teve uma contribuição singular na difusão do conhecimento, anteriormente concentrado em poucos especialistas da área, garantindo a transmissão do conhecimento entre gerações. Este artigo visa apresentar os 10 anos (2007 – 2017) de Capacitação Técnica na Área de Engenharia Submarina da Petrobras, que atuou em três frentes principais: a criação de um curso de formação específico para Engenheiros de Equipamentos recém-ingressos na Petrobras; a elaboração de uma ampla carteira de cursos de educação continuada; a realização de encontros técnicos e seminários internos, com o objetivo de disseminar o conhecimento, registrar a memória técnica da área e promover intercâmbio entre os profissionais.

Palavras-chaves: Capacitação. Treinamento. Engenharia submarina. Educação corporativa.

ABSTRACT

With the increasing importance and investments amount in offshore activities due to discoveries in deeper waters, it's natural that technical issues concerning Subsea Engineering arise, which made it indispensable to Petrobras to create a technical capacitation program in this area. The main goals when this unprecedented program was created were to accelerate the new employees formation and guarantee the continuous actualization of those who were already working in project, installation, operation and integrity management of subsea assets. The Technical Capacitation Program in Subsea Engineering structuring process, led by Petrobras Corporate University and initiated in 2007, has pursued continuous alignment with Petrobras technological challenges and operational needs since its early stages. In this manner, it was possible to anticipate, in the scope of employees capacitation, the technical challenges to be faced by the corporation. Besides the direct gain with employees formation, this program has remarkably contributed to knowledge dissemination, previously concentrated within spread specialists groups, guaranteeing knowledge transmission to future technicians generations. This paper aims to present an historical overview in a 10 years perspective (2007 – 2017) in which Petrobras Technical Capacitation Program in Subsea Engineering was developed and implemented. Three main fronts are addressed: a specific Subsea Engineering Formation Course creation for newly admitted Equipment Engineers in Petrobras; a broad Continued Education courses portfolio confection; technical meetings and internal seminars organization, to promote knowledge dissemination, technical memory logging and employees interaction.

Keywords: *Capacitation. Training. Subsea Engineering. Corporate Education.*

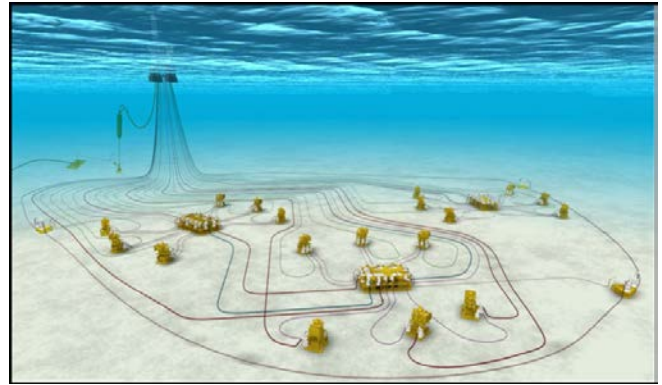
1 INTRODUÇÃO

A Petrobras iniciou a produção *offshore* de óleo e gás em águas costeiras do Nordeste do Brasil, na década de 1960, mas realmente ganhou impulso a partir de 1974, com a produção na Bacia de Campos, inicialmente em águas rasas. Posteriormente, novas descobertas foram realizadas em profundidades cada vez maiores, em águas profundas e ultraprofundas, culminando nas descobertas dos reservatórios gigantes no Pré-Sal da Bacia de Santos, a partir de 2006, e, em seguida, nas primeiras declarações de comercialidade nessa região, em 2010 (MORAIS, 2013).

Atualmente, mais de 90% da produção de óleo e gás da empresa provém de poços *offshore*, e a área de Engenharia Submarina, cujo cenário de atuação é mostrado na Figura 1, contribui de forma determinante para ajudar a Petrobras a atingir suas metas e se tornar referência no cenário internacional. Essa competência técnica foi reconhecida através de três prêmios OTC *Distinguished Achievement Award for Companies, Organizations, and Institutions* (Marlim-1992, Roncador-2001 e Pré-Sal-2015).

Durante várias décadas, para o desenvolvimento dessa área estratégica, a Petrobras contava, principalmente, com Engenheiros de Petróleo e Engenheiros de Equipamentos com formação generalista, que, ao chegarem aos seus postos de trabalho, eram treinados por profissionais mais experientes na área de Engenharia Submarina, acumulando conhecimento com a prática, ao longo do tempo. Não havia um programa de treinamento corporativo estruturado na área de Engenharia Submarina e, muito menos, cursos disponíveis no mercado nacional para atender às demandas da companhia. Além disso, os cursos internacionais existentes não focavam no cenário da Petrobras.

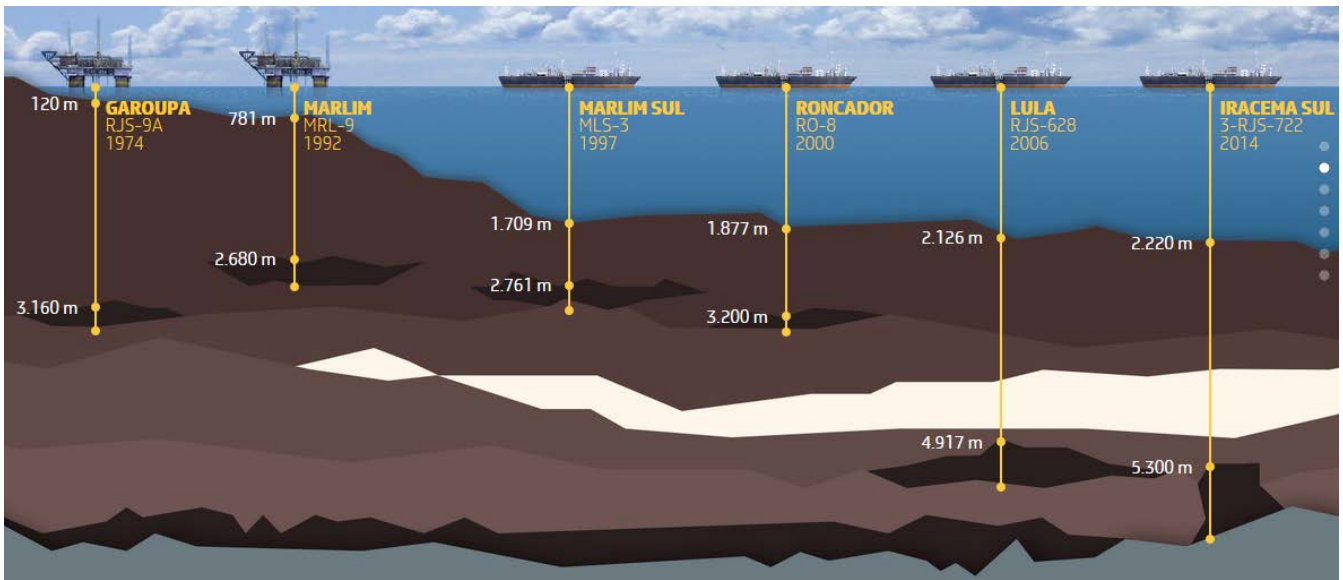
Figura 1 - Cenário de atuação da área de Engenharia Submarina.



Fonte: LIMA et al., 2008, p. 13.

Com o aumento das atividades *offshore*, motivado pelas descobertas em águas cada vez mais profundas e o elevado investimento da companhia para o desenvolvimento de campos marítimos (Figura 2), especialmente no Pré-Sal, e com o crescimento das demandas técnicas relacionadas com integridade de sistemas submarinos e revitalização de sistemas de produção na Bacia de Campos, tornou-se imprescindível criar um programa de capacitação técnica com treinamentos focados nas áreas de dutos, equipamentos e sistemas submarinos de produção.

Figura 2 - Aumento da lâmina d'água (LDA) dos projetos de desenvolvimento da produção ao longo dos anos.



Fonte: PETROBRAS, 2015c.

A reconhecida capacidade técnica da Petrobras para superar seus desafios esteve sempre pautada em três pilares: “visão tecnológica”, “visão operacional” e “visão capacitação” (Figura 3). O desenvolvimento de novas tecnologias foi essencial às atividades de exploração e produção de petróleo à medida que a companhia se deparou com cenários cada vez mais desafiadores. Entretanto, a visão tecnológica, assim como a operacional, não é suficiente se os profissionais envolvidos nas atividades não estiverem devidamente capacitados. Essa capacitação é, em essência, conduzida pela Universidade

Petrobras. Assim, a elaboração de um Programa de Capacitação Técnica da Área de Engenharia Submarina sempre buscou um alinhamento com os desafios tecnológicos e as necessidades operacionais.

Segundo Eboli et al., um fator crítico para o sucesso de um programa de educação corporativa é a capacidade de desenvolver nas pessoas as competências críticas ao negócio da companhia. Dessa forma, foi possível se antecipar, no âmbito da capacitação dos profissionais, aos futuros desafios.

Figura 3 - Pilares de suporte da capacidade técnica da Petrobras.



Fonte: AUTORES, 2016.

2 OBJETIVOS

Nesse cenário de aumento de demanda por profissionais especialistas nos diversos assuntos da Engenharia Submarina, a ideia da capacitação específica nessa área, inédita no país, visou acelerar a formação dos novos empregados e também garantir a constante atualização daqueles que já vinham atuando na área.

Além de fornecer uma visão geral das diversas atividades relacionadas a esse tema, o programa de capacitação buscou também o desenvolvimento de profissionais com atuação mais específica, abrangendo o projeto, instalação, operação e integridade de instalações submarinas.

Este artigo tem por objetivo descrever o histórico, a evolução e os principais ganhos gerados para a companhia decorrentes desse programa de capacitação, pautado em três frentes: a criação de um curso de formação específico para Engenheiros de Equipamentos recém-ingressos na Petrobras; a elaboração de uma ampla carteira de cursos de educação continuada; a realização de encontros técnicos e seminários internos.

3 PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO TÉCNICA DA ÁREA DE ENGENHARIA SUBMARINA

A capacitação técnica na área de Engenharia Submarina foi oficialmente iniciada em 2007, com a criação e realização do Curso de Formação com ênfase em Engenharia Submarina (CENSUB), primeiro Curso de Formação para novos engenheiros da Petrobras totalmente voltado para a área de Engenharia Submarina. Posteriormente, a Universidade Petrobras realizou outras cinco edições do curso.

O sucesso do CENSUB impulsionou a criação da Carteira de Cursos de Educação Continuada da Área de Engenharia Submarina, oferecendo o conteúdo do Curso de Formação em formato

modular (treinamentos de curta duração, 4 a 40 horas), com o intuito de melhorar a capacitação dos profissionais que tiveram outras formações e que já estavam atuando na área.

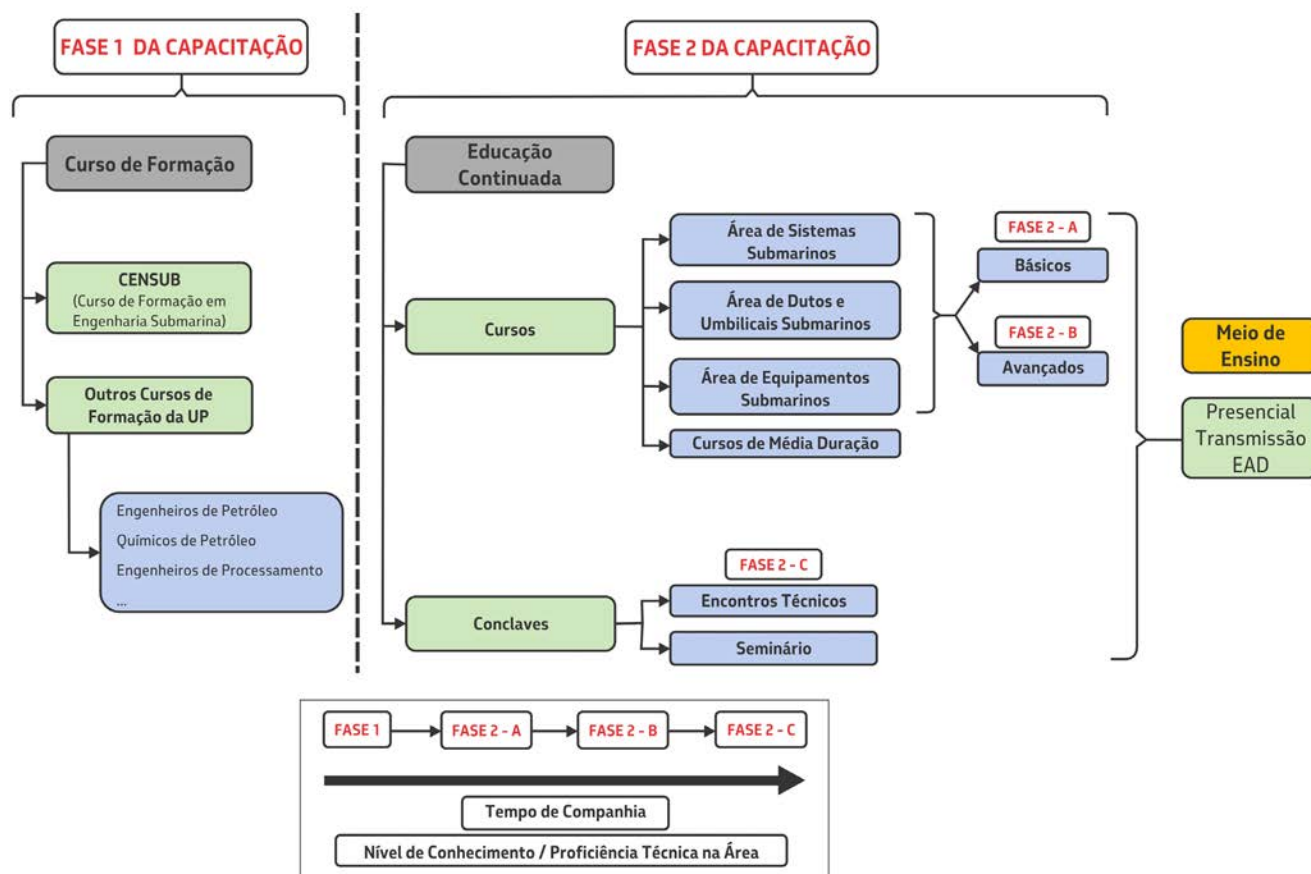
Com o passar do tempo, houve ampliação contínua da carteira de cursos e os treinamentos foram se tornando mais especializados, inclusive para conseguir atender às novas necessidades dos profissionais egressos do CENSUB, contribuindo para elevar o nível técnico da área de Engenharia Submarina da empresa.

Na sequência, foi possível estruturar Encontros Técnicos para as grandes subáreas da Engenharia Submarina (Dutos e Umbilicais, Equipamentos e Sistemas Submarinos), nos quais são discutidos tópicos estratégicos atuais e apresentadas lições aprendidas e melhores práticas, contribuindo para a disseminação do conhecimento. Complementando o Programa de Capacitação, é realizado o Seminário de Engenharia Submarina, que conta com a participação de grande número de empregados que atuam na área.

A Figura 4 resume o status atual da Capacitação Técnica da Área de Engenharia Submarina, que começa com o treinamento de novos empregados, através dos Cursos de Formação (Fase 1 da Capacitação), incluindo o CENSUB e disciplinas de Engenharia Submarina em outros cursos, como o CEP (Curso de Formação em Engenharia de Petróleo) e o CENPRO (Curso de Formação em Engenharia de Processamento), entre outros. Posteriormente, os empregados realizam os treinamentos de Educação Continuada (Fase 2 da Capacitação), oferecidos em diversos meios de ensino (presencial, com transmissão por videoconferência ou e-learning), que são compostos por dois grupos:

- cursos, que estão divididos entre as três subáreas, que por sua vez subdivide-se em cursos “Básicos” (Fase 2-A) e cursos “Avançados” (Fase 2 – B). Além disso, há também Cursos de Média Duração;
- conclaves (Fase 2 – C), que conta com vários Encontros Técnicos e o Seminário de Engenharia Submarina.

Figura 4 - Capacitação Técnica da Área de Engenharia Submarina.



Fonte: AUTORES, 2016.

A estruturação da carteira de cursos e eventos da área de engenharia submarina nestes primeiros 10 anos sempre esteve alinhada às principais diretrizes de um projeto de educação corporativa (EBOLI et al.), tentando vincular o ponto onde a área gostaria de chegar com os instrumentos educacionais para chegar neste ponto.

As seções a seguir apresentam o histórico, a evolução e os ganhos gerados para a Petrobras decorrentes do Programa de Capacitação Técnica da Área de Engenharia Submarina.

4 CURSO DE FORMAÇÃO

4.1 CENSUB

Em 2006, a Universidade Petrobras, através da Escola de Ciências e Tecnologias de Exploração e Produção (ECTEP), hoje Escola de E&P e Desenvolvimento da Produção (EEDP), estruturou o primeiro Curso de Formação com ênfase na Área de Engenharia Submarina da história da Petrobras. Esse projeto foi motivado pela demanda crescente da companhia por profissionais nessa área e, ao mesmo tempo, pela ausência de profissionais no mercado brasileiro com especialização/experiência em projeto, instalação, operação e integridade de instalações submarinas.

Esse desafio começou com uma extensa pesquisa técnica junto às áreas da Petrobras com atividades de Engenharia Submarina para definição

do escopo do curso, uma vez que não havia treinamento no país com conteúdo equivalente. Para isso, foi constituído um Comitê Técnico, com representantes das áreas e da Universidade Petrobras, para estruturar as disciplinas, incluindo a definição dos conteúdos a serem abordados e das cargas horárias dedicadas a cada assunto, atendendo à urgência da companhia para formar os empregados.

Outro desafio inicial foi a preparação e estruturação de um extenso material didático (apresentações/apostilas) de suporte com foco no cenário da Petrobras, que contou com a colaboração de diversos especialistas da área de Engenharia Submarina, que posteriormente atuaram como docentes no curso.

A execução da primeira edição do CENSUB ocorreu em 2007, tendo como participantes engenheiros mecânicos recém-admitidos. O curso, com carga horária de aproximadamente 700 horas, visava complementar a formação acadêmica dos novos empregados com conhecimentos indispensáveis à sua atuação como Profissionais Juniores na Área de Engenharia Submarina da companhia, fornecendo uma visão geral das diversas atividades da área, tais como concepção, projeto, dimensionamento, especificação, instalação, integridade e operação de dutos, equipamentos e sistemas submarinos.

Em 2008 e 2009, duas novas edições do CENSUB foram realizadas, tendo também como participantes engenheiros mecânicos. O formato dessas edições foi muito parecido com o CENSUB 2007, havendo apenas alguns ajustes nos conteúdos programáticos e cargas horárias das disciplinas, assim como atualização do material didático.

Com o crescimento contínuo das demandas relacionadas aos cenários de águas ultraprofundas, já considerando os futuros projetos da Petrobras, em 2010 surgiu a necessidade de capacitar engenheiros eletricitistas e eletrônicos para trabalhar com sistemas submarinos de processamento e bombeamento, novos sistemas de instrumentação/monitoramento/medição, equipamentos dotados de sistema de controle eletro-hidráulico multiplexado (EHMUX) e sistemas submarinos de transmissão de potência. Para

isso, a quarta edição do CENSUB sofreu alterações (inclusão de novas disciplinas e docentes) para se ajustar a essa demanda de treinamento, e empregados recém-admitidos com formação nas engenharias elétrica e eletrônica foram selecionados para participar do curso.

Em 2011, com a implantação do Programa de Aumento da Eficiência Operacional da Bacia de Campos (PROEF), o CENSUB teve as suas disciplinas de integridade reforçadas para atender à demanda por profissionais que iriam atuar nas atividades de Engenharia Submarina do programa. Assim, foi realizada uma edição customizada do Curso de Formação com foco no tema “Integridade de Sistemas Submarinos de Produção” e que teve como participantes engenheiros mecânicos.

Ainda em 2011, visando ao atendimento das demandas dos diversos novos projetos de dutos e *risers* submarinos, especialmente para o Pré-Sal, foi também realizada uma turma com essa ênfase, na qual houve reforço significativo nas disciplinas de dutos, especialmente na parte de projeto estrutural, buscando aproveitar os conhecimentos nessa área dos engenheiros mecânicos e civis que participaram do curso.

A sexta edição do CENSUB, realizada em 2013 e com formação generalista, teve como objetivo capacitar os empregados para atuar em diversas áreas/gerências da Petrobras, e contou com a implementação de diversas melhorias baseadas nas experiências das cinco edições anteriores.

4.2 ATUAÇÃO EM OUTROS CURSOS DE FORMAÇÃO

Além do CENSUB, conteúdos de Engenharia Submarina foram inseridos em outros Cursos de Formação da Universidade Petrobras, devido à existência de interações e interfaces entre diferentes áreas. Por exemplo, os seguintes Cursos de Formação possuem disciplinas de Engenharia Submarina em seus programas:

- Engenharia de Petróleo (CEP);
- Engenharia de Processamento (CENPRO);
- Química de Petróleo (CQP);
- Técnicos de Operação (CF-TO).

A principal atuação é no Curso de Formação de Engenheiros de Petróleo (CEP), devido às inúmeras e importantes interfaces entre a Engenharia de Petróleo e a Engenharia Submarina.

O treinamento em Engenharia Submarina no CEP, além de estar presente em disciplinas específicas, também tem participação na disciplina de Avaliação Econômica de Projetos de Produção (AEPP), na qual um exercício interdisciplinar, que tem como objetivo avaliar economicamente um projeto de desenvolvimento da produção de um campo hipotético, em LDA profunda, fornece aos novos empregados os conhecimentos e competências básicos para o cálculo de CAPEX (*Capital Expenditure*) e OPEX (*Operational Expenditure*) de um sistema submarino de produção (incluindo: dutos rígidos, dutos flexíveis, umbilicais e ANM) em todas as etapas da vida do campo (instalação, operação/inspeção/monitoramento e descomissionamento).

5 EDUCAÇÃO CONTINUADA

Os bons resultados do CENSUB-2007 impulsionaram o oferecimento do conteúdo do Curso de Formação no formato modular de Educação Continuada, com o intuito de melhorar a capacitação dos empregados que já estavam atuando na área de Engenharia Submarina, mas que não cursaram o CENSUB. Além disso, também foi necessário criar treinamentos avançados para complementar e garantir a formação contínua dos empregados egressos do CENSUB.

Assim, com o objetivo de ampliar a capacitação técnica e preparar os profissionais que atuam (direta ou indiretamente) na Área de Engenharia Submarina para enfrentar os desafios técnicos presentes nos sistemas já instalados (operação, integridade e extensão de vida) e aperfeiçoar e otimizar os futuros projetos, principalmente os do Polo Pré-Sal, foi criada a Carteira de Cursos de Educação Continuada da Área de Engenharia Submarina.

A grade de treinamentos oferecida anualmente pela Universidade Petrobras para atender

à comunidade de Engenharia Submarina é continuamente revisada visando garantir o alinhamento com o Plano de Negócios e Gestão (PNG) e o Plano Estratégico da companhia.

5.1 CURSOS DE CURTA DURAÇÃO

Em seu primeiro ano (2007), a Carteira de Educação Continuada contava com pouco mais de 10 treinamentos de curta duração (4 a 40 horas). No entanto, com o aumento da demanda por treinamentos na Área de Engenharia Submarina, assim como a consolidação do CENSUB, decorrente da realização das turmas subsequentes, o número de cursos cresceu ano após ano. Portanto, desde a sua criação, a Carteira de Cursos de Educação Continuada da Área de Engenharia Submarina está em constante aprimoramento por meio de revisões dos treinamentos existentes, criação de novos cursos, aperfeiçoamento do material didático e preparação e inclusão de novos instrutores.

Por exemplo, em 2012 foi estruturado um programa de treinamentos dedicado aos sistemas elétricos de potência submarinos, composto por quatro novos cursos que tratam de aspectos gerais desses sistemas, bem como de assuntos mais específicos do tema, como conectores elétricos, cabos de potência e procedimentos e cuidados na instalação desses sistemas. Esse programa visa tornar os profissionais que atuam nessa área aptos a identificar e mitigar os problemas em sistemas elétricos de potência submarinos, muitas vezes oriundos de falhas na montagem e de instalação em campo.

Com o objetivo de orientar os profissionais que atuam na área de Engenharia Submarina e áreas afins ao longo de seu desenvolvimento profissional, os cursos foram classificados em três Linhas de Atuação: Sistemas Submarinos, Dutos e Umbilicais Submarinos, e Equipamentos Submarinos. Além disso, cada Linha de Atuação está dividida em Cursos Básicos (conteúdo introdutório) e Cursos Avançados (conteúdo mais específico).

Dessa forma, a Carteira visa ao atendimento tanto dos novos funcionários da companhia quanto

dos mais experientes, garantindo a disseminação e perpetuação do Conhecimento da Área de Engenharia Submarina que a Petrobras acumulou ao longo das décadas de atuação na exploração e produção *offshore* de petróleo.

5.1.1 LINHA DE ATUAÇÃO: SISTEMAS SUBMARINOS

Esta Linha de Atuação é composta por cursos que tratam de assuntos/temas gerais (mais abrangentes) e transversais, aplicáveis a várias atividades da Área de Engenharia Submarina, tais como: Arranjos Submarinos, Materiais, Meio Ambiente, Operações de Mergulho, Operações de ROV, Confiabilidade, Análise de Riscos e Gestão de Integridade.

Alguns desses cursos visam fornecer um conhecimento mais amplo das atividades, estabelecendo as conexões entre os diversos subsistemas e descrevendo as interfaces com outras áreas (ex.: Elevação e Escoamento, Poços, Reservatório, Instalações de Superfície, etc.). Justamente por isso, os treinamentos dessa Linha de Atuação são muito procurados por empregados com diferentes formações (ex.: Engenheiros de Petróleo, Engenheiros de Processamento, Engenheiros Navais, Engenheiros de Produção, Químicos de Petróleo, etc.), que não atuam diretamente na Área de Engenharia Submarina, mas que possuem interface com esta.

5.1.2 LINHA DE ATUAÇÃO: EQUIPAMENTOS SUBMARINOS

Os cursos desta Linha de Atuação tratam especificamente da área de Equipamentos Submarinos, incluindo: Árvore de Natal Molhada (ANM), *Manifolds*, Sistemas de Controle, Sistemas de Instrumentação/Monitoramento, Sistemas Elétricos de Potência e Válvulas Submarinas. A integridade e a extensão de vida desses equipamentos/sistemas também são abordadas nesses treinamentos.

5.1.3 LINHA DE ATUAÇÃO: DUTOS E UMBILICAIS SUBMARINOS

Esta Linha de Atuação tem foco na área de Dutos e Umbilicais Submarinos, incluindo: Dutos Flexíveis, Dutos Rígidos, Umbilicais e Análise de *Risers* de Produção. Além de cursos voltados para a caracterização geral dos dutos e umbilicais, há treinamentos formatados especificamente para abordar o projeto estrutural, o processo de qualificação, as etapas de instalação, os aspectos de integridade e a extensão de vida desses componentes.

5.2 CURSOS DE MÉDIA DURAÇÃO

No final de 2016, atendendo às demandas de diversas áreas da companhia, a Universidade Petrobras formatou e realizou um treinamento de média duração, com carga horária de aproximadamente 200 horas, para capacitar alguns empregados recém-egressos de Cursos de Formação cujos programas não são voltados para a área de Engenharia Submarina. O objetivo foi oferecer um “Mini-CENSUB”, dividido em cinco módulos, concentrando em um único treinamento as ementas (equivalência de conteúdo parcial/total) de vários cursos da Carteira de Educação Continuada da Área de Engenharia Submarina, visando acelerar a capacitação dos empregados.

5.3 ENCONTROS TÉCNICOS E SEMINÁRIO

Com o rápido crescimento e diversificação dos sistemas submarinos de produção na Petrobras, especialmente com os projetos e entrada em operação dos sistemas do Polo Pré-Sal, bem como com o acúmulo de conhecimento ao longo de décadas pelo corpo técnico, a realização de Encontros Técnicos e um seminário dedicado à Área de Engenharia Submarina tornaram-se

eventos estratégicos para a troca de experiências, apresentação de boas práticas e lições aprendidas, disseminação do conhecimento e registro da memória técnica da Companhia.

Atualmente, a carteira possui oito Encontros Técnicos, os quais são realizados periodicamente e possuem foco em assuntos específicos das diversas subáreas da Engenharia Submarina. Esses eventos técnicos têm como objetivos:

- discutir os desafios e problemas, assim como apontar as soluções, em projetos e atividades da área;
- disseminar lições aprendidas e melhores práticas;
- elaborar recomendações e alertas técnicos;
- aumentar a integração e o alinhamento entre os profissionais lotados nas diversas gerências da companhia, permitindo a formação de uma comunidade técnica coesa e voltada para a solução dos grandes desafios que se apresentam para a Área de Engenharia Submarina.

O Seminário de Engenharia Submarina (SES), com realização bianual e voltado exclusivamente para o público interno, possui um caráter técnico, com diversas apresentações de trabalhos e publicação de artigos, elaborados pelos profissionais da área. Por meio de uma comissão técnica formada por membros da Universidade Petrobras e representantes das gerências da Área de Engenharia Submarina, os trabalhos propostos são avaliados, sempre levando em consideração a relevância do assunto para a comunidade técnica, e selecionados para apresentação, assim como para publicação dos artigos nos anais do evento. Além disso, o evento também conta com palestras sobre assuntos relevantes proferidas pelo corpo gerencial da Companhia.

5.4 TREINAMENTOS NO FORMATO ENSINO A DISTÂNCIA (EaD)

Em 2016, foram intensificados os esforços para ampliar a oferta de cursos no formato de ensino a distância (EaD), tanto em *e-learning* como por videoconferência, como alternativa às realizações presenciais. Assim, foi constituída uma carteira

de cursos em EaD, com foco principalmente nos treinamentos básicos, visando:

- agilizar o oferecimento dos cursos (novas turmas podem ser realizadas a qualquer momento);
- reduzir custos com deslocamento/viagem de empregados e instrutores;
- dar flexibilidade de horário aos empregados para realizar o treinamento, não impactando as atividades do dia a dia de suas gerências, pois reduz o tempo fora do posto de trabalho;
- dar ao empregado a possibilidade de ditar o seu próprio ritmo de aprendizagem;
- ampliar o acesso aos conteúdos para empregados em regime embarcado.

Os cursos em *e-learning* são gravados em diferentes formatos e disponibilizados através de uma ferramenta de *Learning Management System (LMS)* utilizada no âmbito corporativo para capacitação de empregados. Esta ferramenta, administrada pela Universidade Petrobras, possui um ambiente de gerenciamento de aprendizagem que permite realizar a criação/gestão de turmas, registro de participação de empregados em treinamentos, gestão de certificações, etc.

Além dos treinamentos em *e-learning*, alguns cursos estão sendo realizados com transmissão por videoconferência, permitindo que empregados lotados em diferentes cidades possam fazer esses cursos sem necessidade de viajar. Nesse caso, a viagem do professor também é eliminada, pois ele pode ministrar o curso a partir da sua cidade de lotação. A iniciativa de disponibilização de treinamentos de Engenharia Submarina por videoconferência teve início em 2010/2011, com a realização de dois fóruns que contaram com a participação de empregados em diversas cidades.

Para os treinamentos realizados até o momento usando o recurso de videoconferência, as turmas foram divididas em turnos diários de 4 horas (turno da manhã), em vez das 8 horas (turnos da manhã e tarde) costumeiramente adotadas nos cursos presenciais, acarretando flexibilidade e dispensando a liberação integral das atividades do dia a dia do empregado durante o período do treinamento.

6 RETORNO PARA A COMPANHIA

Desde 2007, o CENSUB já formou 382 novos profissionais para a Área de Engenharia Submarina

da Petrobras (Tabela 1) e estruturou 27 disciplinas, com envolvimento de mais de 80 instrutores, considerando as 6 edições do curso. Atualmente, o CENSUB possui carga horária de aproximadamente 700 horas, distribuídas ao longo de 7 meses.

Tabela 1 – Histórico do Curso de Formação de Engenharia Submarina (CENSUB).

CURSO	ENGENHEIROS FORMADOS	FORMAÇÃO
CENSUB 2007	80	Engenharia Mecânica
CENSUB 2008	80	Engenharia Mecânica
CENSUB 2009	42	Engenharia Mecânica
CENSUB 2010	41	Engenharias Elétrica e Eletrônica
CENSUB 2011	91	Engenharias Mecânica e Civil
CENSUB 2013	48	Engenharias Mecânica e Civil

Fonte: AUTORES, 2016.

Em 2009, uma Avaliação de Impacto (GUIMARÃES, 2009) foi realizada com o objetivo de se verificar o efeito do CENSUB-2007 sobre os empregados formados nesta edição, fornecendo uma medida de retorno para a Petrobras do investimento no Curso de Formação. Além disso, a avaliação, que contou com a participação de gerentes e egressos do curso, também visou obter dados para manutenção dos pontos fortes e realização de ajustes/melhorias nas edições seguintes do CENSUB. A avaliação foi desenvolvida em 4 fases, sendo as fases 2 e 3 as que representaram a parte principal do trabalho, conforme abaixo:

- 1ª fase: Revisão das avaliações de reação realizadas durante o curso;
- 2ª fase: Inserção dos questionários em ambiente virtual e envio aos egressos e realização de entrevistas com gerentes (por telefone);
- 3ª fase: Envio dos questionários, por e-mail, aos egressos que não puderam acessar ou tiveram dificuldade para acessar o sistema;
- 4ª fase: Consolidação e comunicação dos resultados.

Os principais resultados desta Avaliação de Impacto (GUIMARÃES, 2009) foram:

- a estimativa de tempo para que os engenheiros aprendessem na prática todo o

conteúdo visto no CENSUB, caso não tivessem participado do Curso de Formação, foi de 6 anos e 6 meses;

- o Retorno sobre Investimento (ROI) foi estimado em 786%, sem considerar os benefícios intangíveis, tais como alinhamento às necessidades do negócio e networking.

A metodologia usada pela Universidade Petrobras para realização da Avaliação de Impacto, inspirada em metodologias renomadas e disponíveis no mercado mundial, reforçou a necessidade de se investir na continuidade do CENSUB para se atingir os resultados almejados pela companhia, materializando os benefícios de se investir no início para ganhar mais no futuro.

O retorno para a companhia decorrente da realização das seis edições do CENSUB também se reflete no grande número de profissionais egressos desse Curso de Formação que já assumiram funções importantes e de destaque na Petrobras (consultores, coordenadores e gerentes).

Além dos ganhos gerados com o CENSUB, o Programa de Capacitação Técnica da Área de Engenharia Submarina disponibiliza atualmente para a companhia 63 cursos, a maior parte deles com duração entre 4 e 40 horas, totalizando 1432

horas. Nestes dez anos, os treinamentos na área de Engenharia Submarina tiveram como resultado:

- realização de 315 turmas (cursos e conclaves);
- participação de mais de 6.000 empregados;
- mais de 200.000 homem-hora treinadas (HHT).

Ainda, o grande volume de informações técnicas acumuladas nestes dez anos de trabalho levou à criação, no final de 2015, da comunidade virtual Cursos da Área de Engenharia Submarina, com acesso por meio de plataforma de compartilhamento de informações usada internamente pela Petrobras. Essa comunidade virtual, cuja gestão é de responsabilidade da equipe de Engenharia Submarina da Universidade Petrobras, tem como objetivos:

- disponibilizar os materiais didáticos em meio eletrônico, reduzindo os custos com impressão de apostilas nos cursos da Universidade Petrobras;
- promover o compartilhamento e disseminação de conteúdos técnicos e materiais didáticos dos cursos da Carteira de Engenharia Submarina;
- facilitar o esclarecimento de dúvidas sobre os temas/assuntos abordados nos cursos, através de fóruns que contam com a participação dos instrutores;
- servir de veículo de difusão da Carteira de Cursos da Área de Engenharia, incluindo a divulgação das datas e locais de realização dos treinamentos;
- disponibilizar os artigos publicados nas edições do Seminário de Engenharia Submarina;
- disponibilizar conteúdos externos (links da Internet) de interesse da Área de Engenharia Submarina, tais como sites, reportagens, artigos, dissertações e teses publicadas por universidades brasileiras e estrangeiras.

A comunidade Cursos da Área de Engenharia Submarina já conta com mais de 700 membros, sendo que o acesso ao conteúdo é restrito e, conseqüentemente, está disponível apenas para empregados que são convidados para se associar, facilitando a gestão e controle das informações e arquivos disponibilizados.

7 CONCLUSÃO

Além do ganho direto com a formação de novos profissionais, o Programa de Capacitação Técnica da Área de Engenharia Submarina conduzido pela Universidade Petrobras teve uma contribuição singular na difusão do conhecimento, anteriormente concentrado em poucos especialistas da área, garantindo a transmissão do conhecimento entre gerações de empregados da companhia. Além disso, houve um incremento significativo no número de materiais técnicos (apresentações, apostilas e artigos) sobre os diversos temas da área, havendo um salto no registro do conhecimento técnico de Engenharia Submarina da Petrobras.

Apesar dos bons resultados já obtidos, o Programa de Capacitação continua em evolução/expansão para atender às demandas específicas da Área de Engenharia Submarina no cenário do PNG (Plano de Negócios e Gestão).

Portanto, a estruturação e execução desse programa, com 10 anos de existência e com três frentes integradas de atuação (Cursos de Formação, Carteira de Cursos de Educação Continuada e Conclaves), é um exemplo de investimento em treinamento corporativo para garantir um corpo técnico progressivamente mais capacitado, que certamente dará continuidade às conquistas da Petrobras na Área de Engenharia Submarina.

REFERÊNCIAS

EBOLI, Marisa et al. **Educação corporativa: fundamentos, evolução e implantação de projetos.** São Paulo: Atlas, 2010.

GUIMARÃES, Cristina Gomes Palmeira. **Avaliação de impacto do CENSUB 2007.** Rio de Janeiro, 2009. Apresentação.

LIMA, J. M. T. G. et al. Development of Subsea Facilities in the Roncador Field (P-52). In: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, 2008, Houston. **Proceedings...** Houston: OTC, 2008. OTC 19274.

MORAIS, José Mauro. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore.** Brasília, DF: IPEA, 2013.

PETROBRAS. **Tecnologias pioneiras do pré-sal.** 2015c. Disponível em: <<http://presal.hotsitespetrobras.com.br/tecnologias-pioneiras/#1>>. Acesso em: 15 ago. 2017.





Geraldo Falcão
Fonte: Banco de Imagens Petrobras



André de Albuquerque Almeida

Graduação (2008) em Engenharia Elétrica/
Eletrônica pela UFPE. Petrobras, Universidade
Petrobras (RH/UP/EEDP) – Salvador, BA –
E-mail: aaalmeida@petrobras.com.br



Eduardo Ribeiro Nicolosi

Graduação (2006) em Engenharia Mecânica
pela UFU e Mestrado (2015) em Engenharia
na área de Materiais e Processos de
Fabricação pela UFU. Petrobras, Exploração e
Produção (LMS/OMD/DESC) – Rio de Janeiro,
RJ – E-mail: nicolosi@petrobras.com.br



Juliana Soares Lima

Graduação (2000) em Engenharia Civil pela
UFBA e Mestrado (2002) em Engenharia de
Estruturas pela USP. Petrobras, Universidade
Petrobras (RH/UP/EEDP) – Salvador, BA –
E-mail: jslima@petrobras.com.br



Luiz Antonio Sulino de Negreiros

Graduação (2007) em Engenharia Mecânica
pela UFU e Mestrado (2016) em Engenharia
na área de Ciência e Tecnologia dos Materiais
pela UFRGS. Petrobras, Universidade
Petrobras (RH/UP/EEDP) – Salvador, BA –
E-mail: luizsulino@petrobras.com.br



Pablo José Tavares Gomes

Graduação (2006) em Engenharia Mecânica
pela UNESP e Especialização (2008) em
Engenharia de Construção e Montagem pela
UFBA. Petrobras, Universidade Petrobras
(RH/UP/EEDP) – Salvador, BA – E-mail:
pablogomes@petrobras.com.br

The background of the page is a close-up photograph of an engine's internal components, including a timing chain and gears. The image is split diagonally: the upper-left portion is tinted yellow, while the lower-right portion is in black and white. The text is overlaid on the yellow section.

MONITORAMENTO DE PERFORMANCE DE MOTORES DE COMBUSTÃO:

uma técnica indispensável para o diagnóstico de falhas ocultas

Thiago Fernandes da Costa Lima
Alisson Bispo Santos



RESUMO

Este artigo tem como objetivo divulgar um grande avanço na atividade de manutenção dos motores de combustão a gás da Unidade de Processamento de Gás Natural da UO-SEAL em Sergipe, com a implementação do monitoramento dessas máquinas sistematizando o diagnóstico de falhas e as intervenções de manutenção. Inicialmente, serão introduzidos os problemas enfrentados pela equipe de manutenção mecânica da UO-SEAL. Em seguida, será feita uma breve abordagem do funcionamento dos motores a combustão e da aplicação da técnica de monitoramento como solução para a eliminação de falhas. E, por fim, serão ilustrados e interpretados alguns resultados conseguidos com essa técnica, confirmando sua importância e viabilidade econômica no cenário atual da Petrobras.

Palavras-chaves: Monitoramento. Motores a combustão.

ABSTRACT

This article aims to disclose a major breakthrough in the activity maintenance of the combustion engines of the Natural Gas Processing Unit (UO-SEAL) in Sergipe, with the implementation of the monitoring of these machines systematizing the fault diagnosis and maintenance operations. Initially, it will be introduced to the problems faced by mechanical maintenance team OU-SEAL. Then a brief overview of the operation of combustion engines and the application of monitoring technique as a solution to the elimination of faults will be made. Finally, some results obtained with this technique are illustrated and interpreted, confirming its importance and economic viability in the current scenario of Petrobras.

Keywords: Monitoring. Combustion engine.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção, para ser estratégica, precisa estar voltada para os resultados da companhia. É preciso deixar de ser apenas eficiente para ser tornar eficaz, ou seja, não basta reparar o equipamento rápido, mas é preciso manter a função do equipamento reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não planejada.

Os conceitos tradicionais de manutenção – após a falha ou por tempo determinado – não permitem que o desempenho dos equipamentos seja otimizado.

Com essas abordagens, muitas perdas possíveis que poderiam ser evitadas não serão, pois as paradas não planejadas e as substituições de componentes antes do tempo não permitirão a maximização dos resultados.

As experiências vividas por muitas empresas mostram que a técnica de manutenção preditiva

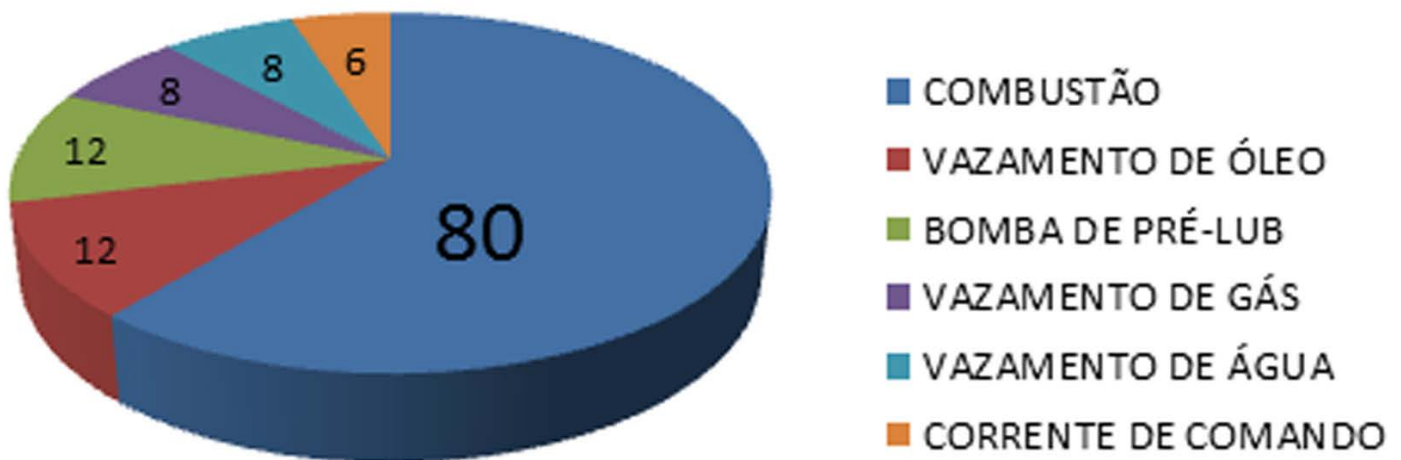
baseada no monitoramento é capaz de enfrentar esses desafios.

Um levantamento feito em 2014 e 2015 no Polo Atalaia em 7 motores de combustão a gás modelo SVS do fabricante *Ingersoll Rand* revelou que o número de falhas nesses equipamentos é alarmante, totalizando 120 falhas.

Como pode ser observado no Gráfico 1, a maior causa de intervenção nessas máquinas são problemas relacionados à ineficiência da combustão nos cilindros desses motores que correspondem a 70% do total de intervenções não programadas.

Também se conclui que a execução da manutenção preventiva não é suficiente para o controle dessas falhas por elas serem ocultas, ou seja, só podem ser detectadas com a desmontagem do equipamento e com substituições de componentes, e muitas vezes sem saber qual deles é causa do problema, aumentando o custo da manutenção.

Gráfico 1 – Levantamento de falhas dos motores em 2014-2015.



Fonte: O AUTOR, 2016.

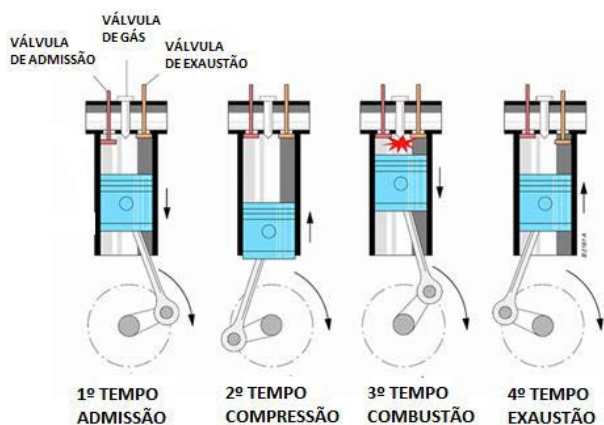
Como exemplo do custo elevado que se pode ter com a ausência de uma técnica preditiva, tem-se uma falha em que o motor ficou indisponível por 3 dias, deixando os compressores acionados por eles de enviar 420.000 m³ de gás para o processo, 24h de recurso humano desperdiçado e substituições

de componentes no valor de R\$ 40.000 (cabeçote, pistão e válvulas), onde foi identificado depois de uma análise mais criteriosa que o problema estava num componente que custava R\$ 3.000,00 (bobina do sistema de ignição).

2 UMA BREVE INTRODUÇÃO AOS MOTORES DE COMBUSTÃO - CONCEITO

Motores a combustão são máquinas térmicas que transformam a energia gerada pela queima de uma mistura de ar e combustível em energia mecânica, que pode ser utilizada para acionamento de veículos e outros equipamentos, como bombas centrífugas e compressores. Um mecanismo constituído de pistão, biela e virabrequim é o responsável por essa transformação. A Figura 1 mostra as 4 etapas de funcionamento para a maioria dos motores.

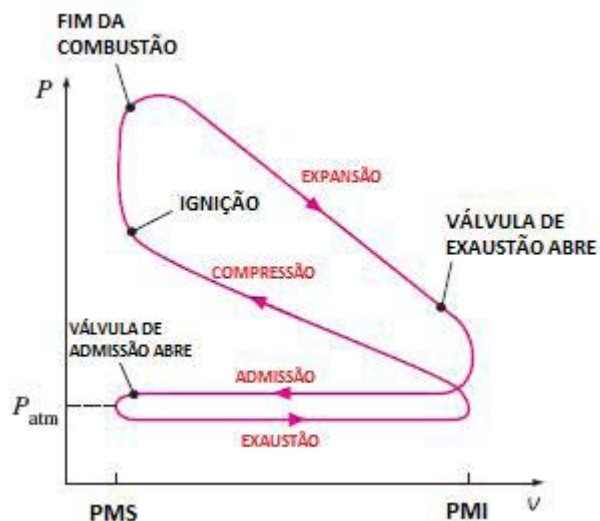
Figura 1 – Os 4 tempos de um motor a combustão.



Fonte: MITHU, 2016, traduzido pelo autor.

O funcionamento dos motores pode ser analisado dividindo o seu ciclo em diferentes processos: admissão, compressão, fornecimento de calor (centelha) e exaustão. O Gráfico 2 ilustra o ciclo de um motor a combustão real através de um diagrama de variação de pressão com o volume deslocado pelo pistão do cilindro.

Gráfico 2 – Diagrama de pressão e volume.

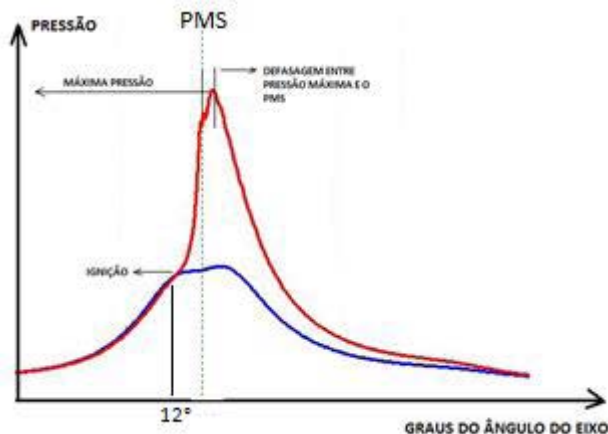


Fonte: CICLO OTTO, 2015, traduzido pelo autor.

Dentro dos cilindros de um motor a combustão, uma centelha elétrica proveniente de uma vela de ignição promove a queima da mistura de ar combustível admitida, iniciando o processo de combustão. A combustão promove a elevação da temperatura e pressão no interior do cilindro que, sendo empurrado para baixo, tem seu movimento retilíneo transformado em rotacional por intermédio do eixo de manivelas (virabrequim).

Essa pressão é influenciada por diversos fatores, sendo que o próprio deslocamento descendente do pistão contribui fortemente para a sua redução após o momento de pressão máxima decorrente da combustão ocorrida no cilindro. O Gráfico 3 mostra um gráfico da pressão interna de um cilindro função do ângulo do eixo (em vez do volume) de um motor SVS da estação de compressão da UO-SEAL gerado pelo equipamento de monitoramento da Petrobras.

Gráfico 3 – Gráfico de pressão.



Fonte: O AUTOR, 2016.

Desse gráfico é possível extrair importantes informações observadas pela engenharia de manutenção:

- a aproximadamente 12° antes do ponto morto superior (PMS -representado pelo ângulo zero do eixo), nota-se que o gráfico da pressão com combustão em vermelho se destaca, determinando uma elevação da pressão causada pelo início da combustão. Ao ultrapassar o PMS, a pressão continua a crescer devido à combustão que ainda está ocorrendo;
- o ângulo da centelha de 12° foi definido pelo fabricante do motor para que a pressão máxima seja atingida após o PMS. Nos SVSs, essa pressão é atingida em torno de 11° a 13° depois do PMS (defasagem). Nesse ponto a combustão está praticamente completa, e o movimento de descida do pistão será impulsionado pela máxima pressão da combustão, com a conseqüente queda na pressão e aumento do trabalho no eixo;
- com relação à transferência de trabalho, nota-se que, enquanto o gráfico com combustão (linha vermelha) supera o gráfico sem combustão (linha azul), o trabalho está sendo transferido para o motor. Por outro lado, nos tempos de exaustão, admissão e compressão são necessários fornecer trabalho ao sistema.

3 MONITORAMENTO DE PERFORMANCE

O objetivo do monitoramento é acompanhar e avaliar os dados fornecidos pelos equipamentos e com isso tomar as decisões que garantam uma maior disponibilidade e um menor custo de intervenção. Os motores a combustão são responsáveis pelo maior custo de manutenção em comparação com outros acionadores como os motores elétricos.

Por isso, o monitoramento preditivo é uma ferramenta imprescindível nessas máquinas, onde o processo de combustão induz a ocorrência de falhas ou defeitos ocultos, ou seja, falhas que não

podem ser percebidas pelo operador quando o equipamento está operando nem pelo mantenedor quando ela está em manutenção.

A manutenção preventiva tradicional obriga o técnico de manutenção a realizar uma inspeção criteriosa no equipamento levando a um gasto de tempo elevado, a substituir componentes sem necessidade, elevando, conseqüentemente, o custo da manutenção.

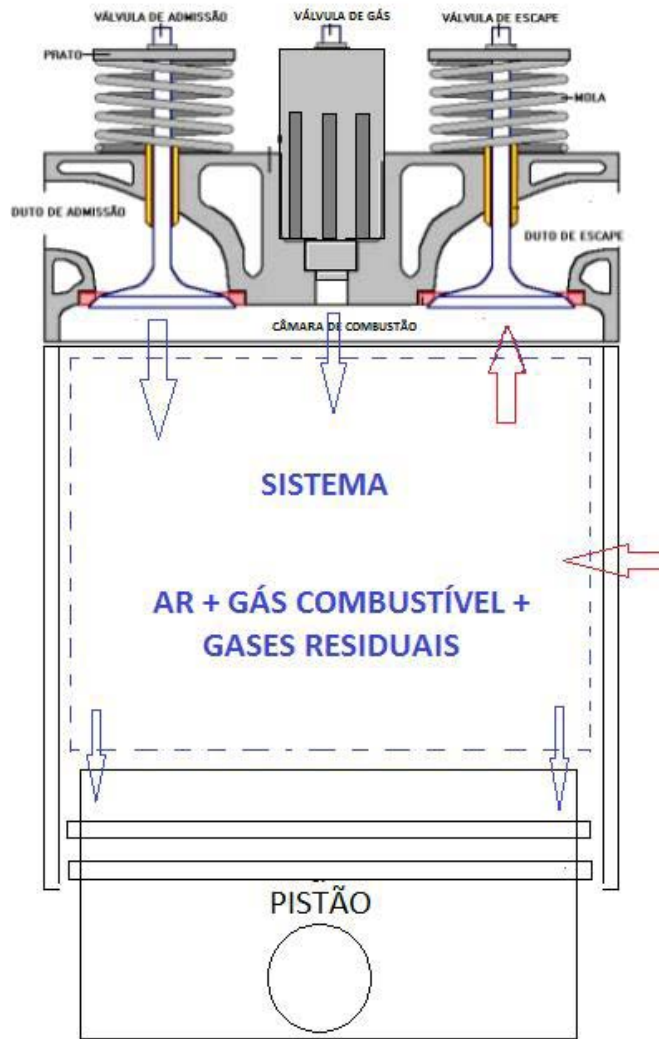
Este trabalho propõe uma sistemática de diagnósticos técnicos de falhas nos motores SVS utilizando-se dos diagramas de pressão e ruídos dos cilindros para o monitoramento do processo da combustão. Tais diagramas relacionam as pressões e ruídos que ocorrem no interior do cilindro do motor, durante o seu processo de combustão, com o ângulo de rotação eixo de manivelas do motor, como mostra a Figura 4.

3.1 DEFINIÇÃO DO SISTEMA E SISTEMÁTICA DE IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS

A definição do sistema e das condições de contorno externas a serem monitorados determinam os componentes que serão analisados e o nível de detalhes para a localização das falhas. A Figura 2 mostra a definição do sistema e contornos do motor SVS. O sistema a ser monitorado é a combustão no interior de cada cilindro do motor que é gerada pela mistura de ar, gás combustível e gases residuais da queima.

As condições de contorno externas definidas para análise são entrada de ar pela válvula de admissão, entrada de gás combustível pela válvula de gás, saída dos gases pela válvula de exaustão, entrada da centelha pela vela de ignição que apesar de não haver entrada ou saída de massa do sistema será considerada uma condição externa para efeito de análise, e por fim, o escape dos gases pelos anéis do pistão em condições normais de funcionamento.

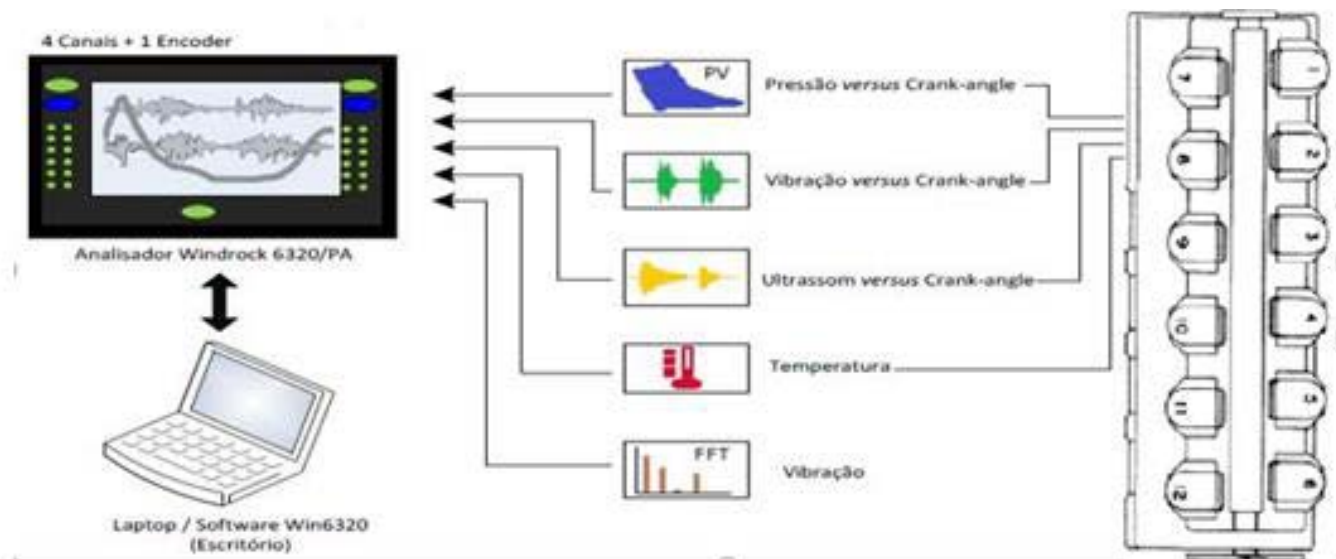
Figura 2 – Definição do sistema e contornos.



Fonte: O AUTOR, 2016.

A monitoração da combustão é realizada com o auxílio de sistemas de aquisição, processamento e apresentação dos dados, representados esquematicamente na Figura 3. Os sinais captados pelos sensores são enviados para uma unidade analisadora da *Windrock* que é responsável pela coleta e processamento das informações captadas pelos sensores. Depois do processamento no analisador, as informações são enviadas a um computador para uma análise mais criteriosa do usuário, onde são emitidos os relatórios.

Figura 3 – Sistema de monitoramento.

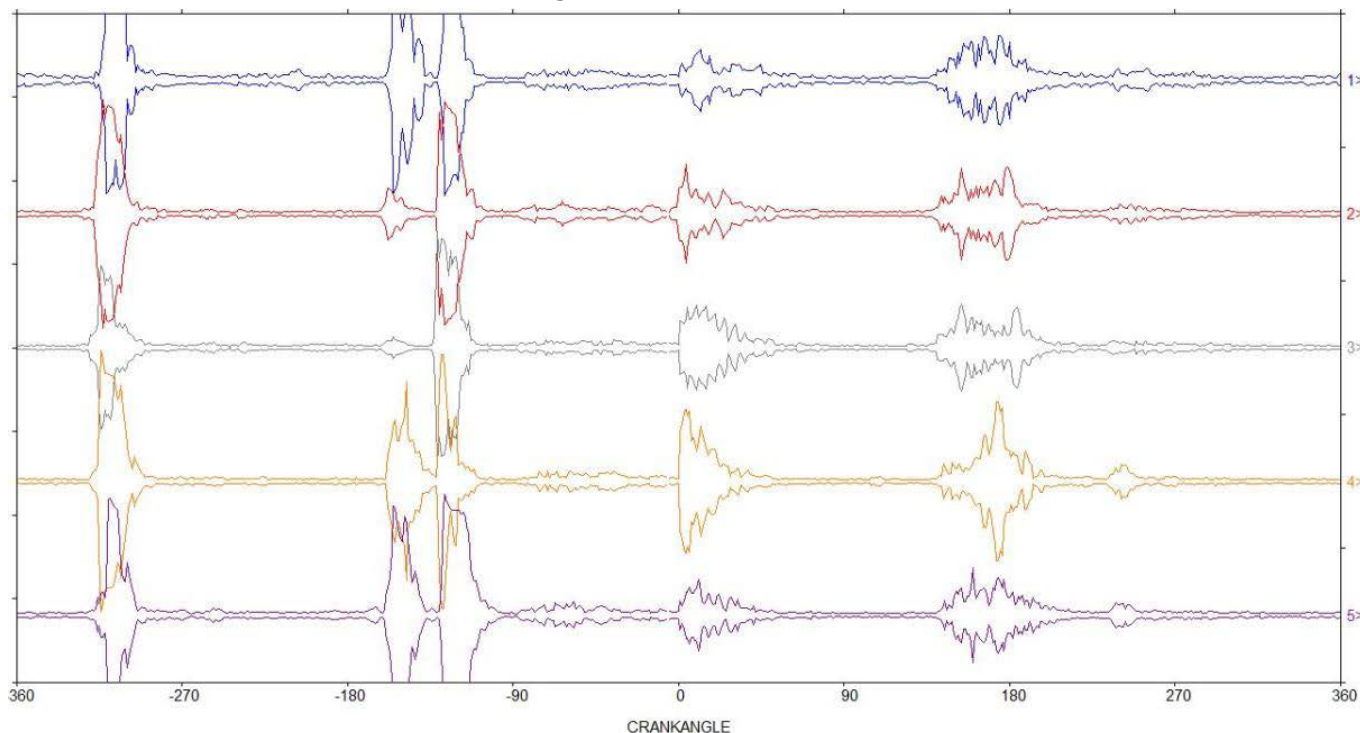


Fonte: O AUTOR, 2016.

Para se ter uma ideia da geração de informações captadas e processadas, são ilustrados nos Gráficos 4 e 5 o diagrama de ultrassom com medições para um cilindro, capaz de detectar ruídos e vibrações no interior do cilindro, e os diagramas de pressão de 6 cilindros, ambos em função do ângulo do eixo girabrequim.

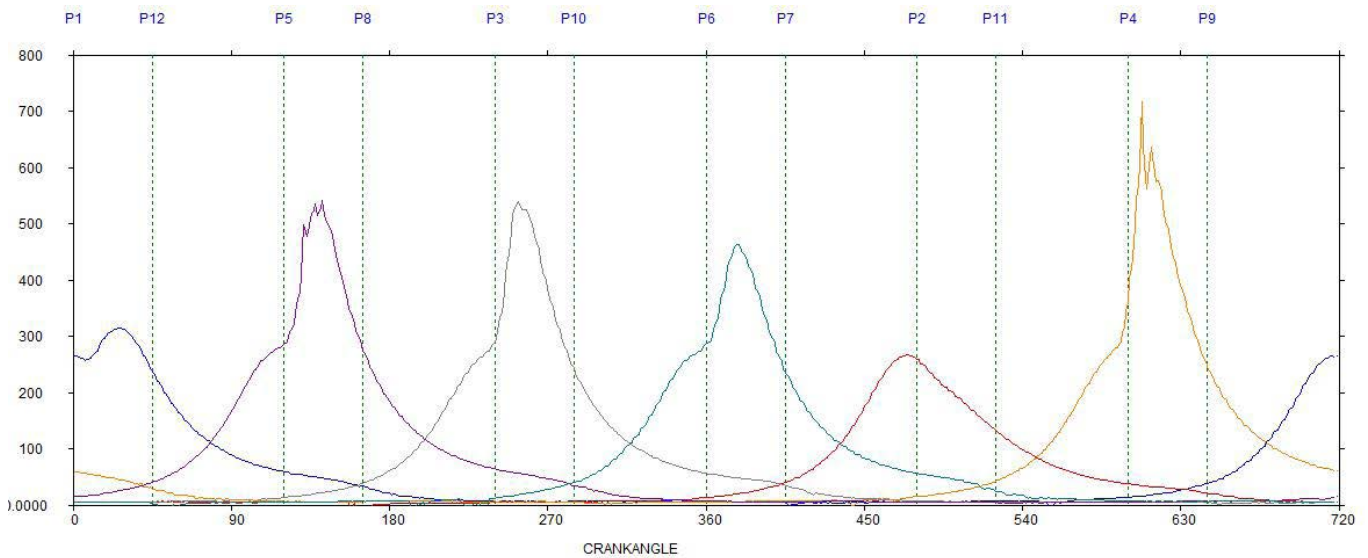
O objetivo de gerar os gráficos em função do ângulo é para melhor visualização dos momentos de abertura e fechamento das válvulas no cilindro. Esse nível de monitoração tem-se mostrado suficiente, com resultados efetivos para a segurança operacional e fornecimento de dados para a elaboração de diagnósticos precisos, que permitam detectar componentes com perda de desempenho antes que se venham falhar efetivamente.

Gráfico 4 – Diagramas de ultrassom de um cilindro



Fonte: O AUTOR, 2016.

Gráfico 5 – Diagramas de pressão de 6 cilindros



Fonte: O AUTOR, 2016.

A avaliação do estado de operação e o diagnóstico de falhas constituem procedimentos de caráter geral, aplicáveis ao motor ou a um de seus componentes. Contudo, em um sistema de monitoração, ambos adquirem um caráter complementar mútuo. A avaliação do estado de operação faz uma análise das condições de funcionamento do motor e de seus componentes, cujo objetivo é o de identificar possíveis anormalidades.

As conclusões sobre o estado de operação, formuladas através desta análise, fornecem, então, os subsídios necessários para o diagnóstico de falhas e a consequente sugestão de medidas operacionais e/ou de manutenção a serem adotadas. A Figura 4 mostra a sistemática de intervenções a serem adotadas, baseada na análise dos gráficos gerados.

Figura 4 – Sistemática de diagnóstico de falhas e intervenção

Cilindro do motor: Relatório de performance		
Parâmetro	Status	Comentários
Cilindro 01	A	Inspeccionar a válvula de exaustão
Cilindro 02	A	Inspeccionar o sistema de ignição
Cilindro 04	B	Inspeccionar cilindro com o boroscópio e verificar a existência de carbonização
Cilindro 09		Duto de refrigeração posicionado a frente da válvula de tomada de pressão. Alterar o percurso
Cilindro 10	A	Inspeccionar o sistema de ignição
Cilindro 11	A	Inspeccionar o sistema de ignição

Tabela de status		
Status	Cor	Ação
A	Vermelha	Parar imediatamente
B	Marrom	Reparar o mais rápido possível
C	Azul	Reparar na próxima manutenção programada
D	Verde	Monitorar a evolução
E	Verde escuro	Não requer ação

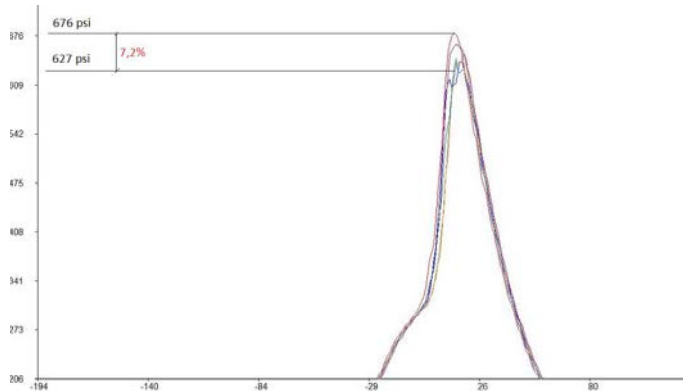
Fonte: O AUTOR, 2016.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico 6 apresenta o gráfico da pressão no interior do cilindro 4 do SVS 3 que está queimando bem, mas indicando um comportamento cíclico da máxima pressão de combustão com uma variação em torno de 7,2%. É notório de pesquisas realizadas em motores que esse comportamento é devido à variação da mistura de ar, combustível e gases residuais em cada ciclo, o que deve gerar uma diferença de até 10% da pressão máxima sem comprometer a queima.

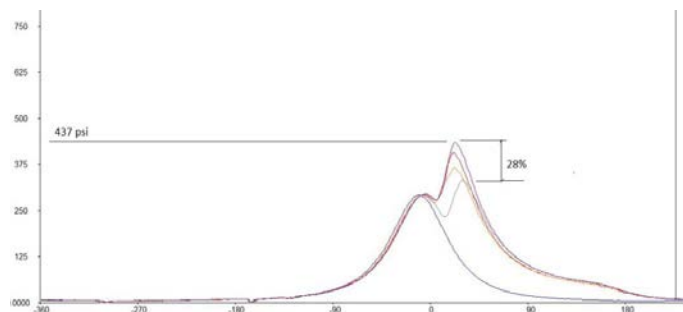
Já no cilindro 2, tem-se um problema de baixa temperatura de combustão e uma variação de pressão de 28% (Gráfico 7), indicando que esse comportamento cíclico foi agravado por um possível problema de centelhamento na vela. Após a intervenção constatamos as velas com os eletrodos gastos.

Gráfico 6 – Comportamento cíclico da pressão.



Fonte: O AUTOR, 2016.

Gráfico 7 – Falha de centelhamento da vela.



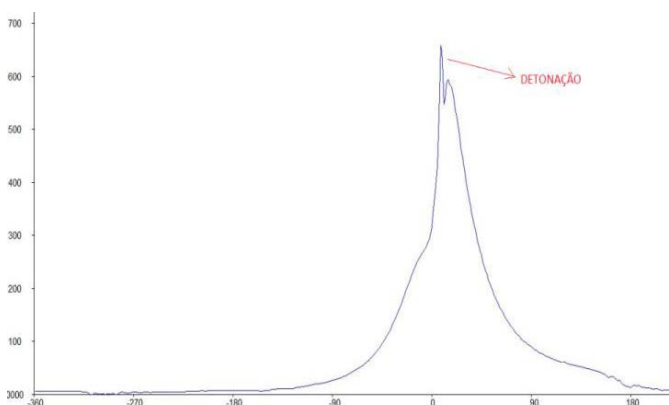
Fonte: O AUTOR, 2016.

O diagrama do Gráfico 8 mostra outro caso e a principal causa de danos aos motores, com maiores

consequências para os pistões e para os cabeçotes: a detonação. Houve muitas substituições desses componentes ao longo desses anos devido a trincas e quebras que surgiam até mesmo com pouco tempo de operação dos componentes. A detonação ocorre quando uma carga maior é demandada pelos cilindros fazendo com que eles recebam mais combustível para não perder potência.

Esse aumento na massa de combustível faz com que se formem vários pontos de autoignição no interior do cilindro após a centelha próxima ao ângulo de pressão máxima, gerando ondas de choque e impactos nocivos ao motor (o “tec-tec” que se ouve em motores de automóveis na hora de acelerar), que em escala industrial muitas vezes são perceptíveis com sensores. Após a intervenção, identificamos danos na válvula de admissão antes do tempo previsto no cilindro 4 do motor SVS 2.

Gráfico 8 – Detonação e suas consequências.



Fonte: O AUTOR, 2016.

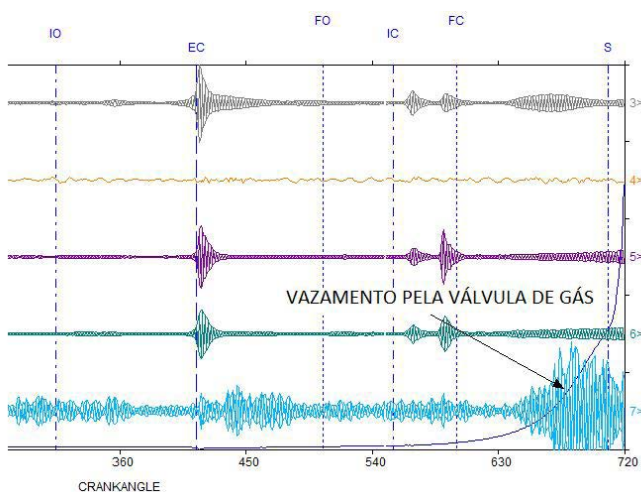
Figura 5 – Título da figura.



Fonte: O AUTOR, 2016.

Outro problema responsável pela substituição desnecessária de componentes são os vazamentos de válvulas mostrados no Gráfico 9. Além de controlar o fluxo dos gases e do combustível para o interior dos cilindros, as válvulas devem garantir a vedação do cabeçote de modo que os gases não escapem durante a fase de compressão e queima no cilindro. No gráfico é identificada uma perturbação elevada no ultrassom do cilindro 10 do motor SVS 1 e ao lado a causa desse vazamento. Esses problemas não eram possíveis de serem identificados pelo operador durante a fase de combustão nem pela equipe de manutenção em curto prazo, gerando perda de tempo para identificação do problema e aumentando o custo da manutenção.

Gráfico 9 – Vazamento pela válvula de gás.



Fonte: O AUTOR, 2016.

Figura 6 – Título da figura.



Fonte: O AUTOR, 2016.

5 CONCLUSÃO

A técnica de monitoração da performance dos motores a combustão permite apresentar um diagnóstico preciso dos defeitos e falhas ocultas, não só pela análise individual de cada cilindro, como pela comparação de todos eles. O retorno obtido com essa ferramenta é indiscutivelmente superior aos obtidos com as técnicas tradicionais de manutenção funcionando isoladamente. Conseguiu-se um planejamento efetivo das intervenções nesses motores, permitindo uma redução no custo de peças de reposição e perdas de produção com paradas melhor programadas.

REFERÊNCIAS

CICLO OTTO. In: ESCUELA Técnica Superior de la Universidad de Sevilla. Wiki del Departamento de Física Aplicada III. Sevilha, 2015. Disponível em: <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto>. Acesso em: 15 set. 2016.

MITHU. Principles of diesel engine operation. Handcaretips. 2016. Disponível em: <<http://handcaretips.com/technology/principles-diesel-engine-operation/>>. Acesso em: 15 set. 2016.

OBERT, Edward F. Motores de combustão interna. Porto Alegre: Editora Globo, 1971.



Thiago Fernandes da Costa Lima

Graduação (2003) em Engenharia Mecânica pela UFPE. Engenheiro de Equipamentos PL da Petrobras. UO-SEAL/UTPF/MIPF-Aracaju,SE – E-mail: enthi@petrobras.com.br



Alisson Bispo Santos

Graduação (2009) em Sistemas de Informação pela FANESE. Técnico de Manutenção PI da Petrobras. UO-SEAL/ENGP/EMI-Aracaju-SE – E-mail: alissonbs@petrobras.com.br

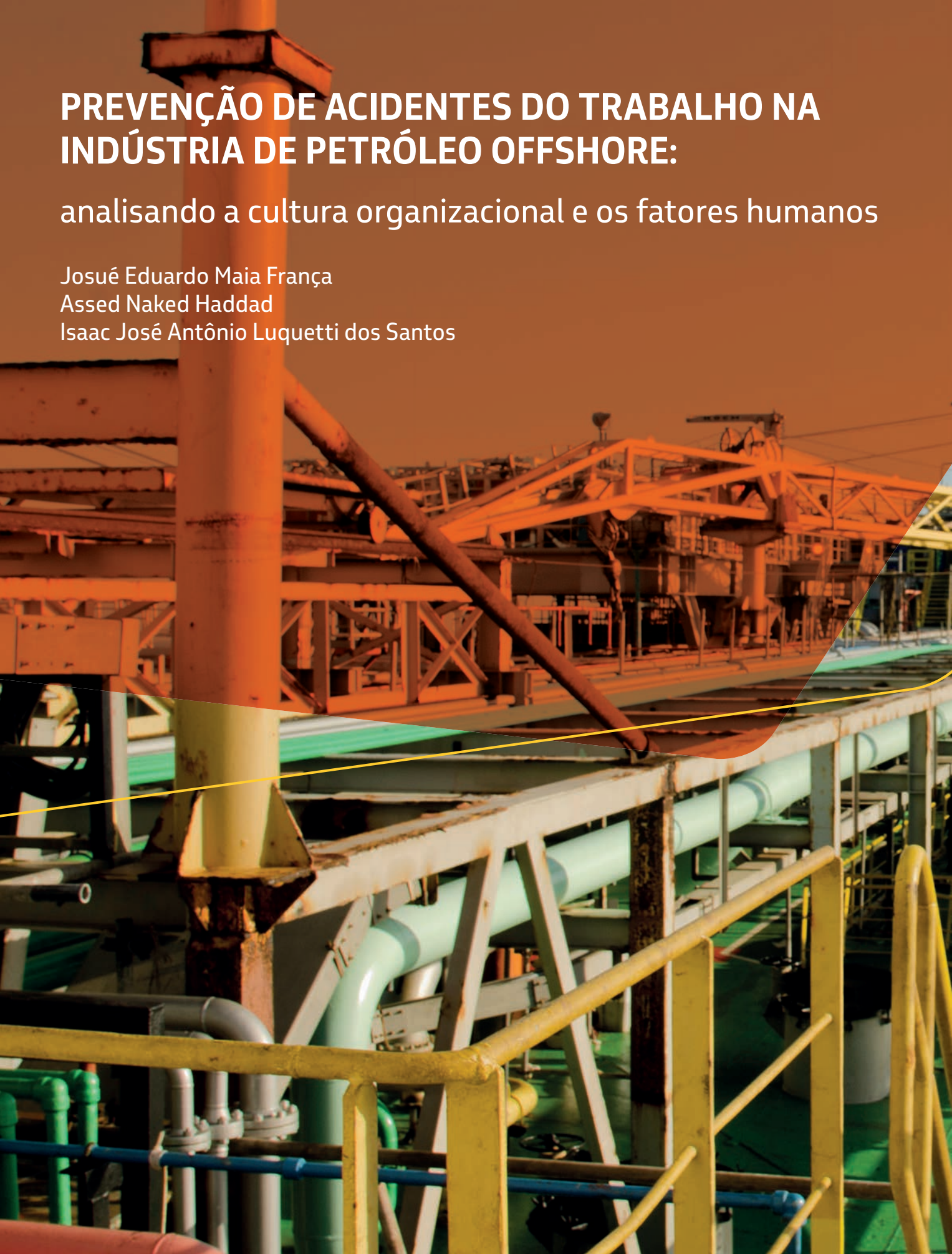
PREVENÇÃO DE ACIDENTES DO TRABALHO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO OFFSHORE:

analisando a cultura organizacional e os fatores humanos

Josué Eduardo Maia França

Assed Naked Haddad

Isaac José Antônio Luquetti dos Santos





BR
PETROBRAS

Coop
LICITE
Tar man
Pro du

RESUMO

No atual cenário geopolítico mundial, onde as mais diversas atividades econômicas e sociais influenciam na política dos países, as atividades de exploração e produção de petróleo *offshore* apresentam importância estratégica no desenvolvimento desses países e nas regiões de sua influência geopolítica. Nesse cenário, desenvolver e produzir um poço de petróleo submarino e elevar o petróleo até uma plataforma, por si só, já apresenta uma série de riscos. Evitar uma perda de contenção nesse cenário crítico é fundamental, pois, além da perda de produção, poderão acontecer acidentes graves, resultando em lesões aos trabalhadores, agressões ao meio ambiente e instabilidade geopolítica. Acidentes como o da plataforma *Piper Alpha*, no Mar do Norte em 1998, da *P-36* na Bacia de Campos em 2001, e o da *Deepwater Horizon*, no Campo de Macondo, no Golfo do México em 2010 mostram que as consequências de um evento dessa monta são trágicas e, a despeito de toda a evolução tecnológica do controle de processos, os acidentes continuam acontecendo. Diante desses acidentes, cada vez mais fica pertinente a análise sistêmica de todos os elementos que contribuíram para o evento indesejável, sendo necessário, portanto, analisar não somente as máquinas, equipamentos e processos, mas também a cultura organizacional e fatores humanos. Somente através de uma análise de acidentes que englobe todos os elementos da cadeia acidental é que será possível identificar as causas que mais contribuíram para um acidente, possibilitando o desenvolvimento de salvaguardas e correções adequadas a cada acidente específico.

Palavras-chaves: Gerenciamento de Riscos. Fatores Humanos. Plataforma de Petróleo *Offshore*. Segurança do Trabalho.

ABSTRACT

In the current global geopolitical scenario, where various economic and social activities influence the policy of the countries, exploration and offshore oil production have strategic importance in the development of these countries and regions of its geopolitical influence. In this scenario, develop and produce an undersea oil well, and raise the oil to a platform, by itself already presents a number of risks. Avoid loss of containment this critical scenario is critical, as well as the loss of production, may occur serious accidents resulting in injury to workers, attacks on the environment and geopolitical instability. Accidents like the Piper Alpha platform in the North Sea (1988), the P-36 in the Campos Basin (2001) and the Deepwater Horizon in the Macondo field in the Gulf of Mexico (2010) show that the consequences of a this event rides are tragic and, despite all technological change control processes, accidents continue to occur. In view of these accidents, time is the most relevant systemic analysis of all the elements that contributed to the undesirable event, it is necessary therefore to analyze not only the machinery, equipment and processes, but also the organizational culture and human factors. Only through an accident analysis covering all elements of accidental chain will be possible to identify the causes that contributed to an accident, allowing the development of safeguards and appropriate corrections to each specific accident.

Keywords: Risk Management. Human Factors. Offshore Oil Platform. Safety Engineering.

1 INTRODUÇÃO

Com a adoção de novas tecnologias para a exploração e produção de petróleo em alto mar, as atuais plataformas de petróleo assumem uma configuração de processos e equipamentos em que o controle e a automação ficam cada vez mais complexos, com variáveis de processo, tais como temperatura e pressão, cada vez mais críticas. Além disso, a prospecção de petróleo está cada vez mais longe da costa e com profundidades de perfuração cada vez maiores, aumentando sobremaneira os riscos.

Nesse contexto, entender a dinâmica de interação entre os trabalhadores e os sistemas complexos de controle das plataformas de petróleo é fundamental para garantir a segurança de todos a bordo, bem como evitar danos ao meio ambiente. E ainda, em um cenário geopolítico mundial em que a energia é estratégica para o desenvolvimento e a sustentabilidade de uma nação, evitar uma grande perda no segmento industrial energético é crucial, denotando ainda mais a importância da compreensão dos fatores humanos na análise de acidentes em plataformas de petróleo *offshore*.

Com base nessas informações, este artigo apresenta uma pesquisa descritiva, cujo procedimento técnico inclui pesquisa bibliográfica, análise de relatórios de acidentes da área *offshore* e o estudo de caso dos fatores humanos mais relevantes que contribuíram para os acidentes das plataformas *Deepwater Horizon*, em 2010, e FPSO Cidade de São Mateus, em 2015. Esta é uma pesquisa qualitativa, que busca evidenciar a importância dos fatores humanos e da cultura organizacional na análise e investigação de acidentes, construindo um arcabouço teórico e prático que pode ser utilizado na prevenção de acidentes do trabalho na indústria de petróleo *offshore*.

2 FATORES HUMANOS

Entende-se que fatores humanos é o estudo da interação entre homem e máquina, compreendido pela interação entre fatores organizacionais,

de grupo e individuais. Nesse contexto, fatores organizacionais dizem respeito às políticas de segurança da empresa; fatores de grupo dizem respeito à cultura de segurança do ambiente de trabalho e, por fim, fatores individuais dizem respeito à percepção de risco inerente de cada indivíduo (SANTOS et al., 2013). Mais resumidamente, Delmotte (2003) define que fatores humanos são todos os elementos de um sistema, que interagem entre si ou com outros elementos distintos, e que possuem direta relação com aspectos relativos ao ser humano.

2.1 A EVOLUÇÃO DOS FATORES HUMANOS

O termo fatores humanos foi, durante muito tempo, um sinônimo de ergonomia, o que é compreensível, pois ambas as disciplinas envolvem assuntos multidisciplinares, tais como engenharia, psicologia, administração, medicina, entre outros, e também buscam compreender a interação do ser humano com os elementos tecnológicos dos seus ambientes de trabalho e vivência. No entanto, apesar dessa semelhança e de historicamente a ergonomia anteceder aos fatores humanos, o desenvolvimento dessas disciplinas seguiram linhas diferentes.

Os fatores humanos buscam compreender a interação (como um todo) do ser humano com os processos e as tecnologias dos sistemas (sobretudo os sistemas complexos), enquanto a ergonomia busca uma abordagem mais compartimentalizada, adotando três conceitos distintos de ergonomia: física (ou antropométrica), cognitiva e organizacional. Complementando essa abordagem, há também a ergonomia de concepção, que consiste na aplicação de todos os conceitos de ergonomia na etapa de projeto de um sistema ou instalação.

Em uma abordagem mais atual, sob a ótica do gerenciamento de riscos de sistemas complexos *offshore*, Ponte Júnior (2014) define fatores humanos como um tema multidisciplinar que contempla vários ramos do conhecimento científico e tecnológico, tais como engenharia, psicologia, biomecânica, antropometria,

física, comunicação, sociologia, além de estar intimamente relacionado com a cultura de segurança de uma organização.

Analisando essa definição, percebe-se que muitos assuntos que outrora eram domínio exclusivo da ergonomia, hoje são estudados integradamente entre fatores humanos e ergonomia, buscando uma sinergia das contribuições dessas disciplinas na busca de um entendimento mais completo e coerente da interação do homem com os modernos sistemas sociotécnicos complexos.

Segundo Carvalho e Vidal (2008), sistemas sociotécnicos complexos são aqueles em que as atividades de trabalho não ocorrem isoladas, ou seja, os trabalhadores interagem entre si e com a tecnologia dos processos e equipamentos, em um ambiente de trabalho permeado pelas regras e cultura da organização. Ou seja, de forma geral, pode-se afirmar que tanto a ergonomia quanto os fatores humanos buscam entender as questões cognitivas, organizacionais e psicofisiológicas que afetam o desempenho do ser humano quando este interage com sistemas, processos e artefatos tecnológicos.

2.2 OS FATORES HUMANOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO OFFSHORE

De acordo com as estatísticas apresentadas por Kariuki e Lowe (2006), mais de 80% dos acidentes que ocorrem em indústrias químicas e petroquímicas possuem a falha humana como um dos fatores causadores desse evento indesejável. Para corroborar essa afirmação, analisam grandes acidentes que estão dentro dessas estatísticas, como, por exemplo, o da plataforma *Piper Alpha*,

no Mar do Norte, em 1988. Esse acidente causou a fatalidade de 167 trabalhadores e a perda total dessa unidade *offshore*. Esse desastre é um exemplo importante de como fatores humanos e organizacionais podem causar acidentes de dimensões catastróficas.

Após esse acidente, o Governo Britânico instaurou uma comissão de investigação, sob a liderança de Lord Cullen, membro do Parlamento Britânico. Como resultado das conclusões desde o inquérito, em 1990, foi elaborado o documento *The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster* (CULLEN, 1990), também conhecido como Relatório Cullen (Matsen, 2011). Esse relatório trouxe consigo diversas contribuições para a gestão de riscos *offshore*, inclusive identificando falhas relativas aos fatores humanos.

Conforme apresentado por Kariuki (2007), os fatores humanos e organizacionais que exercem influência no desempenho dos trabalhadores podem ser classificados de diversas formas. No entanto, é um desafio chegar a um consenso quanto a uma classificação mais abrangente desses fatores, pois há um grande espectro de elementos influenciadores e tem sido abordado de diferentes maneiras por diferentes autores.

O Quadro1 apresenta os fatores humanos mais relevantes identificados por Kariuki e Löwe (2006), e que serão utilizados como referência para a análise desses fatores na investigação de acidentes, sobretudo no que diz respeito ao levantamento dos elementos relevantes para a cadeia de acontecimentos que geram acidentes.



Quadro 1 - Fatores humanos e organizacionais em uma planta industrial de processo.

FATORES	ATRIBUTOS
Organização (ORG)	A1 Fatores humanos e política de segurança
	A2 Cultura organizacional
	A3 Gerenciamento de mudanças
	A4 Desenvolvimento organizacional (auditorias e revisões)
	A5 Gerência & supervisão
Informação (INF)	B1 Treinamento
	B2 Procedimentos & desenvolvimento de procedimentos
	B3 Comunicação
	B4 Etiquetas & placas de sinalização
	B5 Documentação
Design do trabalho (JD)	C1 Força de trabalho, horário de trabalho
	C2 Trabalhos em turno & hora-extra
	C3 Trabalhos manuais
Interface Homem-Máquina (HSI)	D1 Design dos controles
	D2 Telas e displays
	D3 Painéis de controle na área industrial
	D4 Ferramentas manuais
	D5 Equipamentos & válvulas
Ambiente da tarefa (TE)	E1 Iluminação
	E2 Temperatura
	E3 Ruído
	E4 Vibração
	E5 Insalubridade
Lay-out do trabalho (WD)	F1 Lay-out do ambiente de trabalho
	F2 Configuração das estações de trabalho
	F3 Sala de controle
	F4 Acessibilidade
Características do operador (OP)	G1 Atenção / motivação
	G2 Adequação para a tarefa
	G3 Conhecimentos e habilidades

Fonte: KARIUKI; LÖWE, 2006, traduzido pelos autores.

3 ANÁLISE DE ACIDENTES INDUSTRIAIS

Historicamente, a investigação e análise de acidentes industriais se desenvolveram a partir da necessidade de se buscar o entendimento do evento acidental, identificando causas, consequências e, em grande parte dos casos, os culpados. De acordo com Heinrich (1950), o elemento que mais contribuía para os acidentes nas indústrias de produção e de processo era o chamado “fator humano”; ou seja, a falha de ser humano, o erro do trabalhador seria o maior causador de acidentes de uma planta industrial. Seus estudos desenvolveram a atribuição de causalidade dos acidentes aos atos inseguros e condições inseguras, sendo o ato inseguro definido como uma falha por parte do trabalhador e a condição insegura estando relacionada a uma falha do ambiente de trabalho, que na verdade se traduz como um estimulante para o ato inseguro.

Durante muito tempo, a análise proposta por Heinrich (1950) tornou-se um padrão para a investigação de acidentes industriais, satisfazendo a necessidade de empresas, companhias de seguros e governos. Somente décadas mais tarde uma nova abordagem foi apresentada.

3.1 A EVOLUÇÃO DA ANÁLISE DE ACIDENTES INDUSTRIAIS

Na década de 1980, Perrow (1984) desenvolve uma nova abordagem de investigação de acidentes industriais através do conceito de acidentes sistêmicos, os quais estão relacionados às propriedades complexas dos sistemas de controle das plantas industriais que estavam cada vez mais agregando tecnologias modernas e, com isso, aumentando sua complexidade.

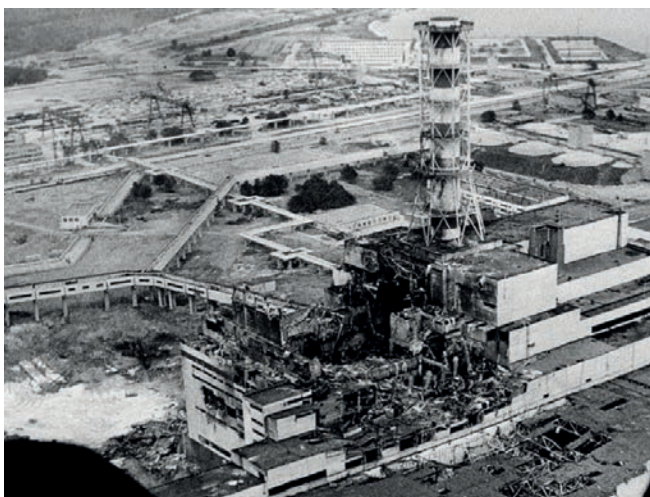
Assim, de forma incipiente, surge o entendimento de que um acidente em sistemas tecnológicos complexos, ou seja, nas modernas plantas industriais, é o resultado de uma interação não antecipada de múltiplas falhas, e que isto é algo sempre possível de ocorrer nesses tipos de sistemas complexos. Com base nessa abordagem, o autor determina que, quanto maior a complexidade de um sistema, maior será a probabilidade de um acidente ocorrer, fazendo com que essa possibilidade seja algo “normal” de se acontecer nas modernas plantas industriais de alta complexidade.

De forma mais completa, Kletz (2009) apresenta que os acidentes industriais são eventos causados pela inter-relação de diversos fatores, sendo necessária uma análise detalhada dos sistemas de gestão da organização e dos sistemas técnicos que compõem as plantas de processo. Além disso, afirma que os erros humanos não devem ser listados como causas de acidentes, na medida em que essa atribuição não leva a conclusões construtivas para o entendimento dos acidentes.

Apesar disso, o autor afirma que diversas organizações atribuem aos trabalhadores mais próximos da linha de execução à causa imediata dos acidentes, ou seja, a falha humana foi o motivo principal de um determinado acidente ter ocorrido. Nesse sentido, afirma também que todos os acidentes podem ser relacionados a falhas do gerenciamento de pessoas, processos e procedimentos.

Tomando como ponto de partida grandes acidentes industriais importantes ocorridos a partir do final da década de 1970, tais como *Three Mile Island*, em 1979, e Chernobyl, em 1986, representado pela Figura 1, Lorry (1999) questiona o paradigma da visão tradicionalista sobre os acidentes – causa fundamental no erro humano isolado, os indivíduos que erram são os operadores, prevenção através de normatizações – e para a consequente proposição de associá-los aos problemas nas relações sociais de trabalho e da comunicação no trabalho enraizados nas organizações.

Figura 1 – Acidente de Chernobyl, 1986.



Fonte: LEATHERBARROWL, 2016.

O acidente de Chernobyl foi um marco para o início da compreensão da importância dos fatores humanos na análise de investigação de plantas industriais de alta complexidade, que no caso se tratava de uma grande usina nuclear. Esse emblemático acidente ocorreu em 26 de abril de 1986 e, apesar da rigidez dos projetos e procedimentos de segurança adotado em usinas nucleares, da experiência e da disciplina operacional soviética, o grave acidente causou a perda instantânea das diversas barreiras de defesa da usina, causando a liberação catastrófica de parte do núcleo radioativo para o meio ambiente.

O vazamento foi detectado em países da Europa como a Holanda, resultando em contaminação radioativa, perda de vidas, explosões de grande porte e implicações geopolíticas mundiais. A catástrofe resultou na comprovação de que a rigidez no cumprimento de normas, modernos sistemas tecnológicos de controle e operadores com alto desempenho técnico não são suficientes para se evitar acidentes. Ordens superiores para a realização de testes de segurança em um momento operacional inoportuno haviam sido dadas durante a operação em Chernobyl e foram seguidas pelos operadores, o que levou ao grave acidente.

De acordo com Ponte Júnior (2012), identificou-se que, nesse tipo de situação, a segurança precisaria ir além dos limites da confiabilidade

humana, da qualidade dos equipamentos e da rigidez no cumprimento de normas e ordens hierárquicas. Entendeu-se necessário desenvolver uma cultura de segurança acima de regras, normas e equipamentos e que propicie a priorização da segurança no tempo certo, ou seja: quando ainda é possível evitar uma catástrofe.

Complementando a abordagem de que o acidente é o resultado dos vários elementos que compõem uma organização, Reason (2008) apresenta o conceito dos chamados acidentes organizacionais, identificados como os eventos raros e catastróficos ocorridos em sistemas tecnológicos complexos, como a indústria nuclear, a indústria química de processo e a aviação comercial, com origem vinculada às suas estruturas organizacionais.

Nesse conceito, são determinadas duas categorias de fatores causais de acidentes: falhas ativas, que são as ações e decisões das pessoas mais próximas do final do sistema – por exemplo, operadores de campo e de sala de controle e equipes de manutenção; e condições latentes, que são as falhas associadas às ações e decisões das gerências das organizações, dos projetistas, dos fabricantes, dos governos e das agências.

Com isso, os acidentes seriam então o resultado de falhas ativas conformadas pela existência dessas condições latentes. Como reflexo dessas definições, há a explicitação de que ações humanas e organizações, nos diversos níveis das empresas, têm relação com a ocorrência de acidentes, superando o conceito equivocado de que são apenas as falhas dos trabalhadores que executam a atividade fim como os causadores dos acidentes.

Contudo, apesar de diversos especialistas afirmarem que a falha do ser humano é apenas um dos vários elementos que causam os acidentes, diversas empresas, organizações e governos ainda desenvolvem ações de análise de acidentes que, em vez de buscar as verdadeiras causas e consequências desses acidentes, buscam culpados e prejuízos. Sobretudo quando há grandes prejuízos financeiros e fatalidades de trabalhadores, torna-se ainda mais necessário compreender os diversos fatores, ou seja, os

fatores humanos que contribuíram para a cadeia de eventos que causou o acidente.

Nesse sentido, quando se retrata os ambientes de trabalho *offshore*, onde há equipamentos e processos que empregam altas temperaturas, altas pressões e produtos químicos extremamente reativos, fica ainda mais explícita a importância da compreensão dos fatores humanos na análise de acidentes em plataformas de petróleo em alto-mar.

Analisar adequadamente um acidente nesse ambiente de trabalho, compreendendo a dinâmica dos fatores que afetam a interação do ser humano com os diversos sistemas complexos *offshore*, trará informações valiosas que não somente evitarão outros acidentes, mas também reduzirão significativamente lesões aos trabalhadores, danos ao meio ambiente, perdas de produção e crises geopolíticas.

3.2 ACIDENTES NAS PLATAFORMAS DE PETRÓLEO OFFSHORE

Em 20 de abril de 2010, a plataforma *Deepwater Horizon* perfurava um poço de petróleo no campo de Macondo, no Golfo do México, quando uma falha no revestimento interno desse poço causou o descontrole dessa operação. Como consequência, as estruturas do poço não suportaram a pressão do petróleo e do gás do reservatório de Macondo, causando um fluxo descontrolado de fluidos do reservatório até o topo da coluna de perfuração da plataforma, inundando esses equipamentos com petróleo e liberando gás por toda a plataforma.

Esse vazamento de gás penetrou por diversas áreas da plataforma e, após uma ignição inicial oriunda das máquinas do sistema de geração de energia elétrica, uma série de outras explosões e incêndios destruíram a torre de perfuração, a casa de máquinas e demais áreas da plataforma.

A explosão e consequente afundamento da plataforma perfuração de petróleo e gás *Deepwater Horizon* causou a fatalidade de onze trabalhadores da indústria offshore do Golfo do México (WALSH, 2010).

Nas semanas que se seguiram à investigação desse acidente, os profissionais envolvidos nessa atividade desenvolveram diversas ações para não somente descobrir as causas imediatas desse acidente, mas também as causas básicas e organizacionais, de forma a encadear adequadamente a sequência de eventos que foram responsáveis por essa perda.

Recentemente, o Governo norte-americano concluiu o processo criminal desse acidente, e uma das diversas causas acidentais que esse processo identificou foi a falha de comunicação organizacional entre empreiteiros, contratantes e operadores (WILLIAMS, 2013). Antes desse processo, em 2011, o *Deepwater Horizon Study Group*, na Califórnia, também identificou a falha de comunicação, bem como a de cultura organizacional, como fatores responsáveis por esse acidente (DEEPWATER, 2011).

Elementos relativos à comunicação no ambiente de trabalho, cultura organizacional e relações subjetivas entre trabalhadores, são classificados como fatores humanos, ou seja, fatores capazes de influenciar no desempenho do ser humano em seu ambiente de trabalho, sobretudo em ambientes complexos tecnológicos, em que há grande indução ao erro (PONTE JÚNIOR, 2014).

Nesse sentido, como apresentado na Figura 2, o acidente da plataforma *Deepwater Horizon* mostrou que compreender os fatores humanos que contribuíram para a causa de um acidente possibilitará desenvolver soluções de engenharia para que esses fatores não sejam a causa de acidentes futuros.

Figura 2 – Acidente da Plataforma Deepwater Horizon, 2010.



Fonte: LUSTGARTEN, 2012.

Desde o acidente da plataforma *Deepwater Horizon*, muito foi estudado e desenvolvido, nacional e internacionalmente, com o intuito de evitar que acidentes como esse pudessem novamente acontecer. No entanto, apesar de todo esse empenho e divulgação dos aprendizados, acidentes *offshore* catastróficos continuam acontecendo.

Na manhã do dia 11 de fevereiro de 2015, a bordo da Plataforma de perfuração e produção, armazenamento e transferência (*Floating production, storage and offloading* – FPSO), na cidade de São Mateus (FPSO-CSM), localizada na Bacia do Espírito Santo, realizava-se uma operação rotineira de transferência e armazenagem de mistura de água e condensado entre tanques de carga e *slop* dessa unidade. Durante essa operação, observou-se um vazamento de condensado nas tubulações desse sistema. Diversas decisões e ações de contenção foram tomadas; contudo, apesar disso, uma grande explosão ocorreu no interior da casa de bombas, produzindo severos danos para a plataforma, a fatalidade de nove trabalhadores e ferimentos em outros vinte e seis (BRASIL, 2015).

Perdas trágicas e inestimáveis ocorreram com esse acidente. Nas semanas que se seguiram após esse acidente, diversos profissionais e diversos órgãos, brasileiros e internacionais,

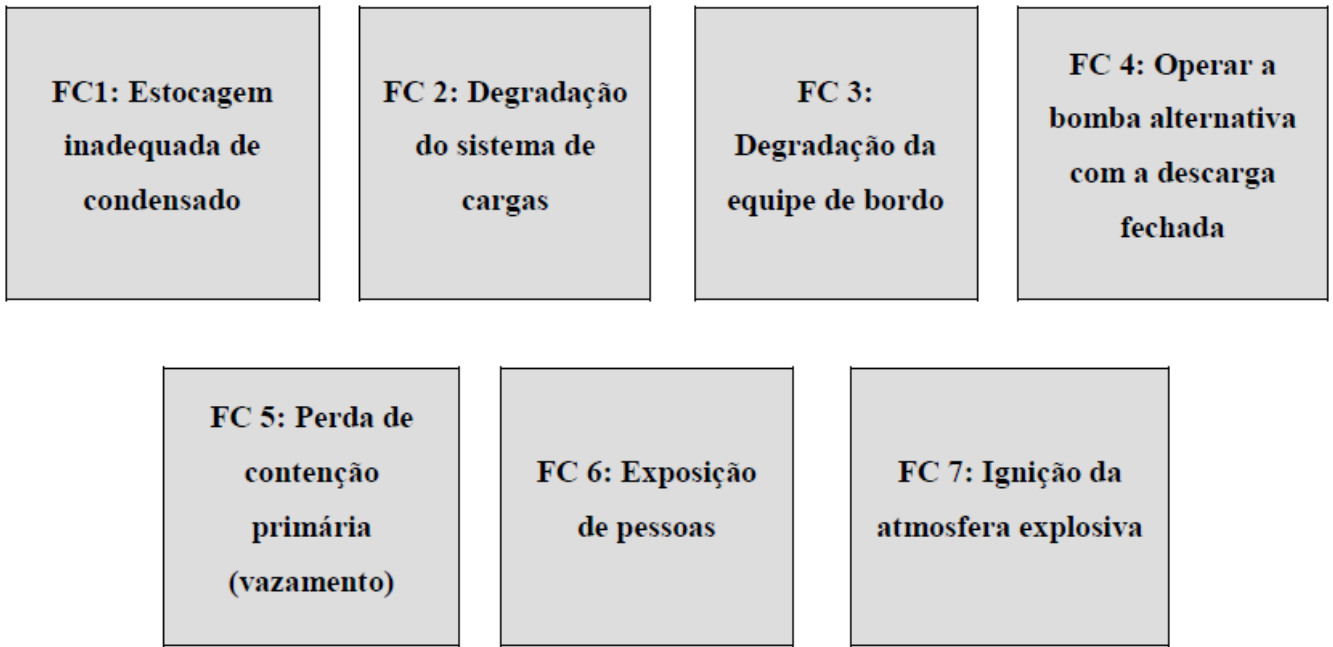
envolveram-se na análise e investigação das causas desse evento indesejável. Tempo depois, a Marinha do Brasil apresentou o Relatório de Investigação de Segurança Marítima do FPSO-CSM, onde diversos fatores foram identificados como causas desse acidente.

Além das causas atribuídas a equipamentos, legislação e processos, esse relatório conclui que diversos fatores de comunicação e organizacionais também contribuíram para esse acidente, denotando a importância da compreensão exata dos fatores humanos dentro da operação de sistemas complexos *offshore*. De forma análoga, o Relatório de Investigação do FPSO-CSM, elaborado pela Superintendência de Segurança Operacional e Meio Ambiente (SSM) da ANP Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), apresenta diversos elementos contribuintes para esse acidente, destacando-se a degradação da equipe de bordo e a exposição de pessoas como causas associadas aos fatores humanos contribuintes para esse acidente (AGÊNCIA, 2015).

4 FATORES HUMANOS NA ANÁLISE DE ACIDENTES EM PLATAFORMAS DE PETRÓLEO OFFSHORE

De acordo com a ANP (2015), no acidente do FPSO CSM, foram identificados 7 fatores causais através de uma árvore de falhas que correlaciona diversas causas raiz, assim como recomendações pertinentes ao acidente. A Figura 3 apresenta de forma resumida a relação dos Fatores Causais desenvolvida por essa entidade.

Figura 3 – Fatores causais do acidente de explosão ocorrido no FPSO CSM.



Fonte: ANP, 2015.

Analisando o FC 3: Degradação da equipe de bordo, percebe-se que esse elemento tem direta relação com as relações interpessoais e organização entre o trabalhador e sua estrutura hierárquica, bem como entre trabalhadores na mesma linha de decisão, mas com funções similares ou distintas. Percebe-se, também, que o FC 3 encontra similaridades com os seguintes fatores humanos e organizacionais identificados por Kariuki e Löwe (2006):

- A1 fatores humanos e política de segurança;
- A2 cultura organizacional;
- A5 gerência e supervisão;
- B1 treinamento;
- B2 procedimentos;
- B3 comunicação.

É importante ressaltar que, deste arcabouço de fatores humanos inter-relacionados, a comunicação exerce fator fundamental, senão decisivo, para a causa de um acidente, haja vista que diversos outros estudos, apresentados por Ponte Júnior (2012), França (2014) e Roberts, Flin e Cleland (2015), têm identificados sistematicamente a comunicação como um dos mais relevantes fatores humanos em ambientes de trabalho *offshore*.

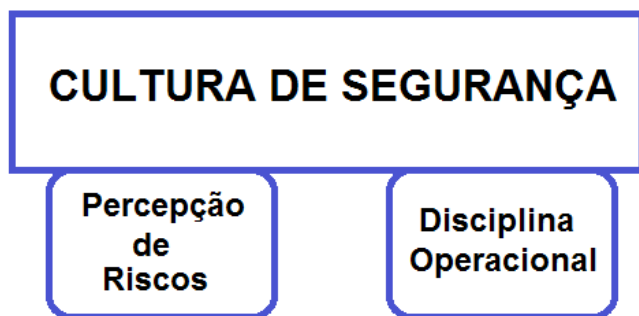
Além disso, no que diz respeito à comunicação verbal e a certeza da transmissão da mensagem, o acidente do FPSO-CSM contou com o agravante de possuir empregados de nacionalidades distintas, que, apesar de se comunicarem através da língua inglesa, apresentaram momentos em que essa comunicação não era plena.

De forma também decisiva, sobretudo em um ambiente de trabalho de alto risco, que é o ambiente de trabalho de uma plataforma de petróleo *offshore*, a cultura de segurança foi um dos elementos identificados como contribuintes para esse acidente. Segundo o relatório da ANP (2015), a falta de requisitos mínimos de gestão de riscos deteriorou a cultura de segurança das equipes de bordo, influenciando toda a cadeia de comando e contribuindo para o acidente do FPSO-CSM.

Analisando especificamente as ações deterioradas associadas à cultura de segurança, percebe-se que, mesmo em uma situação declarada de presença de hidrocarboneto em um ambiente de espaço restrito, foram autorizadas a entrada e permanência de equipes de trabalho nesse ambiente.

Fica evidente que a percepção de risco dos trabalhadores e da liderança de bordo estava inadequada, pois diversos procedimentos operacionais indicam claramente que na presença confirmada de hidrocarboneto, com formação de atmosfera explosiva, a ação de resposta é o *shutdown* escalonado da planta de produção, e não a intervenção de trabalhadores. Como pode ser identificado pela Figura 4, para a construção de uma sólida cultura de segurança, são necessários dois pilares fundamentais: a disciplina operacional e a percepção de riscos, sendo este último um dos mais críticos fatores humanos presentes em um ambiente laboral *offshore*.

Figura 4 – A cultura de segurança e seus pilares fundamentais.



Fonte: OS AUTORES, 2016.

Analisando ainda o arcabouço de fatores humanos apresentados por Kariuki e Löwe (2006), e tendo como base a análise de acidentes de plataforma *offshore*, percebe-se que há ainda diversos fatores humanos, neste ambiente, que influenciam decisivamente no desempenho do trabalhador e também, ao mesmo tempo, são elemento contribuintes para a cadeia de eventos que culmina em um acidente.

O design de controles, as telas e *displays*, os painéis de controle na área industrial são equipamentos de interação homem-máquina que, quando há falhas nessa interação, quer seja por parte do trabalhador, quer seja por parte das máquinas, surge um elo fraco na corrente que forma a proteção de uma atividade laboral. Ademais, a iluminação, a temperatura, o ruído, a vibração e a insalubridade, fatores humanos presentes nos ambientes de trabalho *offshore*, exercem sobremaneira influência no desempenho dos trabalhadores, bem como no desempenho

de máquinas e equipamentos, deteriorando tanto condições físicas de equipamentos, quanto condições psicofisiológicas de operadores, diminuindo a percepção de risco e a confiabilidade de todo o sistema sociotécnico complexo que estrutura uma plataforma de petróleo *offshore*.

Por conseguinte, uma vez que há a redução da percepção de riscos de trabalhadores e a confiabilidade de sistemas e equipamentos, surge oportunidade para o acontecimento de eventos e falhas que culminam em um grande acidente. Essa conclusão encontra ainda mais coerência quando analisada em conjunto com os estudos de Reason (1997), em que apresenta um acidente como o resultado de uma série de falhas nos sistemas de defesa de uma empresa. Essas falhas podem ser atribuídas a diversos elementos que compõem um ambiente de trabalho, sobretudo no que diz respeito aos fatores humanos, corroborando a necessidade de um estudo mais apurado desses elementos no gerenciamento de riscos de sistemas sociotécnicos complexos, tal qual uma plataforma de petróleo *offshore*.

4 CONCLUSÃO

Segundo o relatório do acidente do FPSO CSM, apresentado pela ANP (2015), foram identificados sete fatores causais através de uma árvore de falhas que correlaciona diversas causas raiz, assim como recomendações pertinentes ao acidente. Analisando esses fatores causais frente às considerações propostas por Reason (1997), Lorry (1999), Kariuki e Lowe (2006), Kletz (2009), Ponte Júnior (2014), Roberts, Flin e Cleland (2015), e muitos outros especialistas que se debruçam sobre as questões relativas aos fatores que afetam o desempenho humano, fica patente que não há uma solução exata para os problemas evidenciados.

No entanto, ao mesmo tempo, claro está que soluções podem ser desenvolvidas através da compreensão multidisciplinar dos fatores humanos, da cultura organizacional e todos aqueles elementos que estão presentes nos ambientes de alta tecnologia e complexidade

das plantas industriais *offshore*. Neste estudo, identificou-se que os acidentes analisados têm diversas causas contribuintes, sendo estas relacionadas com a disciplina operacional das empresas e a percepção de riscos de seus empregados; uma falha em qualquer um destes dois elementos irá ruir a construção da cultura de segurança da empresa. Analisar os fatores humanos que afetam o desempenho dos trabalhadores auxilia a identificar as falhas na disciplina operacional das empresas e a percepção de riscos de seus empregados, possibilitando o tratamento dessas falhas e consequente construção da cultura de segurança.

Analisando as atuais e tradicionais ferramentas de análise de riscos, tais como HazOp (*Hazard and Operability Study*), FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e APR (Análise Preliminar de Riscos), percebe-se que estas não apresentam de forma eficiente uma análise que contemple os fatores humanos de um ambiente de trabalho, mas têm grande destaque na análise de riscos de processos, sistemas e equipamentos. Outras ferramentas de análise de riscos mais elaboradas, tais como FTA (*Fault Tree Analysis*), BBN (*Bayesian Belief Network*) e Redes de Petri, permitem uma análise mais abrangente, identificando falhas relativas ao desempenho dos trabalhadores, sobretudo porque tais técnicas permitem a análise de multicausalidade simultânea.

Apesar disto, essas ferramentas têm se tornado o ponto de partida para novas soluções que contemplam a análise dos fatores humanos, como é o caso da Human-HazOp (*Human Hazard and Operability Study*), ATHEANA (*A Technique for Human Error Analysis*), CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*).

Frente a essa nova possibilidade de analisar riscos e identificar os fatores humanos que mais influenciam o ser humano em um ambiente de trabalho, o próximo passo é fazer com que as ferramentas de análise e investigação de acidentes também contemplem essa dimensão, mostrando de forma objetiva, eficiente e clara que a falha do ser humano,

ou seja, o “erro humano” é apenas um dos diversos fatores que contribuem para um acidente, e não o único elemento causador de um acidente.

Ou seja, a cultura organizacional de que o erro humano é o único causador de um acidente já não encontra mais eco nos atuais estudos de análise de risco e investigação de acidentes, pois estes claramente mostram que há diversos fatores humanos que influenciam o desempenho do trabalhador, fazendo com que ele seja apenas uma das mais diversas causas de um acidente.

Com base nos estudos apresentados e na análise dos relatórios do acidente do FPSO-CSM, apresentados pela ANP (2015) e pelo Ministério da Marinha do Brasil (2015), percebe-se que ambos os elementos causadores desse acidente são caracterizados como fatores humanos, embora isto não seja claramente descrito nesses documentos como tal. Diante disto, nota-se que há o surgimento de uma nova e incipiente abordagem dos fatores humanos na análise e investigação de acidentes, contribuindo não somente para um processo de investigação mais eficiente, mas também para a redução da incorreta teoria de que o acidente do trabalho é culpa do trabalhador envolvido na tarefa.

No atual cenário econômico e geopolítico, onde os riscos de um negócio são cada vez maiores e os sistemas tecnológicos cada vez mais complexos, é fundamental para as empresas, sobretudo aquelas que atuam na produção de petróleo *offshore*, desenvolver uma capacidade de compreender seus riscos e processos, identificando, tanto no gerenciamento de riscos quanto na investigação de acidentes, os fatores humanos mais relevantes nos ambientes de trabalho de suas plantas industriais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Superintendência de segurança operacional e meio ambiente. **Relatório de Investigação do incidente de explosão ocorrido no FPSO Cidade de São Mateus em 11 de fevereiro de 2015. Rio de Janeiro, 2015.** Disponível em: <www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=78834>. Acesso em: 01 ago. 2016.

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria Geral de Navegação. Diretoria de Portos e Costas. Superintendência de Segurança do Tráfego Aquaviário. **Relatório de investigação de segurança marítima: FPSO Cidade de São Mateus explosão seguida de alagamento, com vítimas, 11 de fevereiro de 2015. Brasília, DF, 2015.** Disponível em: <https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/diiian/rel_acidentes/smateus/fpso_cid_smateus_br.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2016.

CARVALHO, P. V. R.; VIDAL, M. C. **Ergonomia cognitiva: raciocínio e decisão no trabalho.** Rio de Janeiro: EVC, 2008.

CULLEN, Lord. **The public inquiry into the Piper Alpha disaster.** London: The Stationery Office, 1990.

DEEPWATER HORIZON STUDY GROUP. **Final report on the investigation of the Macondo well blowout.** Califórnia: CCRM: University of California Berkeley, mar. 2011. Disponível em: <http://ccrm.berkeley.edu/pdfs_papers/bea_pdfs/dhsgfinalreport-march2011-tag.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2016.

DELMOTTE, F. **A sociotechnical framework for the integration of human and organizational factors in project management and risk analysis.** 2003, 261 f. Thesis (Master of Science)– Polytechnic Institute and State University, Faculty of the Virginia, Virginia, 2003. Disponível em: <<https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-11022003-124614/unrestricted/etd.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2016.

FRANÇA, J. E. M. **Alocação de fatores humanos no gerenciamento de riscos de sistemas complexos offshore.** 2014. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)– Escola Politécnica e Escola de Química da UFRJ, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli1261.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

HEINRICH, H.W. **Industrial accident prevention: a scientific approach.** New York: McGraw-Hill, 1950.

KARIUKI, S. G. **Integrating human factors into chemical process quantitative risk analysis.** 2007. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia)– Technischen Universität, Berlin, 2007. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.123.424&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2016..

_____, LOWE K. Integrating human factors into process hazard analysis. **Reliability engineering e system safety**, Amsterdam, v. 92, n. 12, p. 1764-1773, Dec. 2006. Edição especial. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832007000166>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

KLETZ, T. **What went wrong?** Case histories of process plant disasters and how they could have been avoided. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2009.

LEATHERBARROW, A. **Chernobyl 01:23:40: the incredible true story of the world's worst nuclear disaster.** [S.l.], 2016.

LORRY, M. **Acidentes industriais: o custo do silêncio.** Rio de Janeiro: MultiMais, 1999.

LUSTGARTEN, A. **Run to failure: BP and the making of the deepwater horizon disaster.** New York: W. W. Norton & Company, 2012.

MATSEN, B. **Death and oil: a true story of the piper alpha disaster on the North Sea.** New York: Pantheon, 2011.

PERROW, C. **Normal accidents**: living with high-risk technologies. New York: Basic Books, 1984.

PONTE JÚNIOR, G. P. **Gerenciamento de riscos, cultura de segurança e fatores humanos para simulação computacional de escape e abandono em instalações offshore**. 2012. 163 f. Tese. (Doutorado em Engenharia Oceânica)– Programa de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2012.

_____. **Gerenciamento de riscos baseado em fatores humanos e cultura de segurança**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

REASON, J. **The human contribution**: unsafe acts, accidents and heroic recoveries. Burlington: Ashgate, 2008.

_____. **Managing the risks of organisational accidents**. Surrey: Ashgate, 1997.

ROBERTS, R.; FLIN, R.; CLELAND, J. "Everything was fine": an analysis of the drill crew's situation awareness on deepwater horizon. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 38, p. 87-100, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282448445_Everything_was_fine_An_analysis_of_the_drill_crew's_situation_awareness_on_Deepwater_Horizon>. Acesso em: 07 ago. 2016.

SANTOS, I. J. A. L. dos et al. Human factors applied to alarm panel modernization of nuclear control room. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 26, n. 6, p. 1308-1320, Nov 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2013.07.017>>. Acesso em: 07 ago 2016.

WALSH, B. On the Edge. **Time**, Tampa, v. 175, n. 23, Asia, p. 31-37, Jun. 2010.

WILLIAMS, S. For BP, the cleanup isn't entirely over. **The Wall Street Journal Europe**, New York, Feb. 2013.





Josué Eduardo Maia França

Formação Técnica (1998) em Eletrônica Industrial pelo CEFET-RJ. Graduação (2007) em Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica pela USU. Pós Graduação (2011) em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UFRJ. Mestrado (2014) em Engenharia Ambiental pela UFRJ. Petrobras. RH/UP/EGL – Rio de Janeiro, RJ. E-mail: josue.maia@petrobras.com.br

Assed Naked Haddad

Graduação (1986) em Engenharia Civil pela UFRJ. Mestrado (1992) em Engenharia Civil pela UFF. Bacharel (1993) em Direito pela UNIFLU. Doutorado (1996) em Engenharia de Produção pela COPPE-UFRJ. Pós Doutorado (2006) em Engenharia de Produção pela University of Florida. Pós Doutorado (2010) em Engenharia pela Universitat Politècnica de Catalunya - Espanha. UFF – Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil – Niterói, RJ. UFRJ – Departamento de Engenharia Civil – Rio de Janeiro, RJ. E-mail: assed@poli.ufrj.br

Isaac José Antônio Luquetti dos Santos

Graduação (1980) em Engenharia Eletrônica pela UFRJ. Pós Graduação (1984) em Engenharia Nuclear pela COPPE-UFRJ. Mestrado (1997) em Engenharia de Produção pela UFF. Doutorado (2003) em Engenharia de Produção pela COPPE-UFRJ. CNEN - IEN, Laboratório Usabilidade e Confiabilidade Humana – Rio de Janeiro, RJ. E-mail: luquetti@ien.gov.br

PROJETO DE EXAUSTORES EÓLICOS OU SOLARES PARA CONTROLE DE TEMPERATURA NA CASA DE MÁQUINAS DA UTE-MCY

Vitor Mascarenhas Péres
Sonaldo Vital de Oliveira Junior





Refinaria de petróleo à noite com sauna a vapor/fumaça fluindo para o céu
Fonte: Istockphoto

RESUMO

Um dos problemas enfrentados pelas usinas termelétricas é relativo à temperatura do ar de admissão: que influencia na quantidade de combustível injetado necessário para manter a mistura ar/combustível constante e na qualidade da queima resultante. A termelétrica Muricy ampliou sua capacidade de arrefecimento com a instalação de resfriadores evaporativos para auxiliar nas tarefas dos sistemas antigos dos radiadores *High Temperature* (HT) e *Low Temperature* (LT). Concomitantemente, o *intercooler* serviria esse propósito, de forma independente e em estágios diferentes. Não obstante esse aumento da capacidade, as condições de temperatura ideal não foram atingidas para operação do motor (ar de admissão), bem como a temperatura ambiente da casa de máquinas, incluindo o não atendimento aos requisitos da NR-15. Esse estudo corrobora o uso de exaustores, que, em conjunto com os insufladores instalados, pode suprir essa deficiência da temperatura dos componentes das unidades geradoras e seus auxiliares, e ainda trazer benefícios tais como iluminação extra, reestabelecimento da qualidade do ar e de ventilação contínua pelos equipamentos da *powerhouse*, trazendo vantagens em cadeia para toda a produção, ao permitir maior faixa de operação com confiabilidade.

Palavras-chaves: Temperatura. Casa de máquinas. Exaustor. Moto-geradores. Custo-benefício.

ABSTRACT

One of the problems faced by thermic based power plants is concerning the intake air temperature: that influences the quantity of fuel injected needed to keep the mixture air/fuel constant and the quality of the resultant burning. The thermoelectric plant Muricy expanded its cooling capacity with the installation of evaporative cooling systems to assist them in the same tasks of the old systems of HT and LT. Concomitantly, the intercooler would serve this purpose, in a independent way and at different stages. Notwithstanding this increase of capacity, the ideal temperature conditions were not met for motor operation (air intake) as well as the environment temperature of the engine room, including non-compliance with NR-15 requirements. This study supports the use of exhausters that, together with the installed blowers, can supply this temperature deficiency of components of the generating units and their auxiliaries, and still bring benefits such as extra lighting, air quality reestablishment and continuous ventilation on the equipment of the powerhouse, bringing chain advantages to the whole production, to allow greater operating range with reliability.

Keywords: Temperature. Engine's Room. Exhausters. Moto-generators. Cost-effective.



1 INTRODUÇÃO

A previsão de ativação das termelétricas seria somente nos períodos de ocorrências de secas, devido ao fato do Brasil ter sua matriz energética muito dependente de hidroelétricas. Considerando isso, a usina termelétrica de Muricy foi projetada para uma operação transitória: a manutenção poderia resolver a maioria dos problemas dos equipamentos quando houvesse paradas programadas da planta.

Cada acionamento de motor requereria a ativação de ambos os respectivos insufladores da máquina. A recomendação para a casa de máquinas funcionar com todas as portas fechadas partiria da premissa que as massas de ar quente formadas na *powerhouse* tenderiam, por causa da alta pressão, a subir e se dispersar mais facilmente.

O hábito, entretanto, de deixar as portas de emergência e principais abertas, com a atividade constante da usina, pode ter sido um dos motivos do acúmulo de massa térmica interna ao ambiente, pelo fato de haver perda parcial de insuflamento, bem como a hipótese de uma retenção da massa quente, por não alcançar pressão suficiente para que a exaustão superior natural funcione adequadamente. Essa hipótese precisa ser analisada e testada, mas possui um viés de verdade quanto à perda de insuflamento.

Uma das principais preocupações que se tem em uma usina termelétrica em operação é quanto às temperaturas dos motores mecânicos e de seus componentes auxiliares. Existe um intertravamento automático para determinadas temperaturas elevadas, previsto em projeto, que podem representar um risco para os elementos da casa de máquinas. Isso também infere na sensação térmica interna à *powerhouse* e na vida útil de equipamentos elétricos sujeitos a esse stress.

Os motores são de fabricação *MAN Diesel & Turbo*, modelo 18V4860B, com potências de 18,5 MW por unidade, e o combustível principal utilizado é o óleo combustível especial de baixo teor de enxofre (OCB1E).

Cada moto-gerador possui um sistema de arrefecimento independente, que é composto por dois circuitos fechados de água, sendo um de alta temperatura e outro de baixa temperatura, denominados de *High Temperature* (HT) e *Low Temperature* (LT) respectivamente. Os sistemas basicamente consistem em um conjunto radiador onde a água dos circuitos de HT e LT é resfriada com o ar ambiente.

O circuito de HT é responsável pela remoção de calor das camisas dos cilindros e do primeiro estágio de compressão do ar de admissão. Já o circuito de LT é responsável pela remoção de calor do segundo estágio de ar de admissão, do resfriador de óleo lubrificante, do circuito de arrefecimento dos bicos injetores e do resfriamento dos mancais dos geradores. O subdimensionamento dos sistemas radiadores levou à necessidade de perda térmica, sendo imprescindível a integração de um novo sistema de resfriadores evaporativos para compensar.

Essa conclusão derivou de uma avaliação dos custos para correção dessa deficiência e o ganho em relação a outras soluções disponíveis (tanto em prazo como em preço). A solução anterior escolhida para essa temática, que foi o uso de *sprinklers* externos aos tubos de refrigeração, trouxe problemas adicionais de oxidação estrutural e dos painéis elétricos que estão posicionados abaixo dos sistemas antigos de resfriamento HT LT, a qual a nova estrutura de resfriadores evaporativos cumpriria a função de dividir as cargas térmicas.

Apesar de todos os esforços, ainda existem situações relativas à temperatura, principalmente quando há necessidade de manutenção de qualquer um dos equipamentos supracitados.

A Unidade Termelétrica de Muricy da Petrobras, situada próxima ao polo petroquímico de Camaçari, reconheceu a necessidade de um sistema complementar de resfriamento para o ar de admissão de seus oito moto-geradores e um dos controles que se possui para essa variável se dá por dezesseis insufladores, oito desses instalados de frente para os geradores.

A corrente nominal de alimentação dos insufladores é de 72 A e seu objetivo é movimentar 190.000 m³/h de ar externo para circular dentro dos domínios da casa de máquinas. Entretanto, seu dimensionamento não considerou algumas dissipações de calor, que serão abordadas nesse projeto com mais detalhes.

A proposta de instalação de exaustores eólicos/solares no telhado da casa de máquinas não apenas servirá para controle adicional de temperatura interna, mas para remoção de poeira, mofo e outros poluentes (odores, fumaça e pó) do ambiente, ajuste de velocidade do vento (melhorando sensação térmica na área), e auxiliando na iluminação interna, caso a tampa superior seja em policarbonato cristal 3,0 mm, sem prejudicar a resistência do equipamento e sem deixar passar o calor para o ambiente. Tudo com um gasto reduzido ou inexistente de energia e aproveitando fluxo eólico da própria usina, além de trazer benefícios para grande parte da cadeia produtiva.

2 OBJETIVO E METODOLOGIA

O método escolhido para a abordagem do tema que será explanado no decorrer do trabalho foi a da revisão bibliográfica e estudo de melhoria da planta UTE-MCY (dados internos), cujo corpo, produzido como um projeto de aplicação que adotou o delineamento sistemático de um estudo técnico descritivo (causa e efeito), procurou explorar inovações tecnológicas e os benefícios das mudanças propostas quanto ao seu custo e melhorias para a produção/manutenção.

Foram coletadas informações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), da NR-15, de outras empresas (nacionais e internacionais) que atuam no setor, de normas internas da Petrobras e experiências de trabalhadores da petrolífera.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a norma estabelecida pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) nº 01/78 a temperatura do ar de admissão de motores a diesel deve ter valor inserido na faixa de 288 K (15 °C) a 318 K (45 °C), sendo que as médias de temperatura de operação do ar admitido na Muricy são de 42 °C.

Além disso, após o estudo de aplicação da NR-15 na termelétrica Muricy, houve a recomendação de implantar medidas de engenharia que reduzissem a geração de calor na Praça de Máquinas. Foram realizadas 36 medições, cada medição (ocorrida entre 13h30min e 15 horas) realizada por 3 vezes com intervalo entre elas de 1 minuto. No momento da medição, todas as portas estavam abertas, com 4 insufladores ligados. Abaixo, está apresentada uma dessas medições, cuja síntese confirma a recomendação realizada.

Figura 1 - Avaliação de calor em diversos pontos (IBUTG).

AVALIAÇÃO DE CALOR (SOBRECARGA TÉRMICA)							Data: 16/12/2015	
Descrição das atividades realizadas no ciclo de 60 anos	Local	Característica do ponto de mediação	Média das Leituras			IBUTG (°C)	Tipo de Atividades	Taxa Metabólica (kCal/h)
			Tbn (°C)	Tbs (°C)	Tg (°C)			
Verificação no MG 04 - saída dos gases de exaustão	Praça de Máquinas	Ambiente interno sem carga solar	29,8	43,4	42,0	33,5	Moderado	220
Verificação no MG 04 - em frente às válvulas de admissão lado direito	Praça de Máquinas	Ambiente interno sem carga solar	29,4	41,2	44,5	33,9	Moderado	220
Verificação no MG 04 - em frente às válvulas de admissão lado esquerdo	Praça de Máquinas	Ambiente interno sem carga solar	29,6	41,0	44,5	34,1	Moderado	220
Verificação no MG 04 - abaixo das válvulas de admissão	Praça de Máquinas	Ambiente interno sem carga solar	28,2	39,9	43,1	32,7	Moderado	220
Verificação no MG 04 - parte inferior do intercooler próximo às bombas LT e HT ao lado dos filtro de óleo	Praça de Máquinas	Ambiente interno sem carga solar	30,9	49,1	44,5	35,0	Moderado	220
Verificação no MG 04 - booster do MG (unidade de injeção U04-F15)	Praça de Máquinas	Ambiente interno sem carga solar	30,7	45,5	46,6	35,5	Moderado	220
Leitura do painel dos moderadores MG 04	Praça de Máquinas	Ambiente interno sem carga solar	31,1	44,1	46,9	35,8	Moderado	220
Verificação do nível de óleo do compressor de partida ao lado do vaso VAS TA1100	Praça de Máquinas	Ambiente interno sem carga solar	27,9	41,2	43,6	32,6	Moderado	220
Verificação do funcionamento da caldeira - em frente ao painel da caldeira 3000kg	Área da Caldeira	Ambiente interno sem carga solar	28,1	35,7	39,1	31,4	Moderado	220
Verificação e acompanhamento da operação das centrífugas - em frente ao separador HFO/003	Sala das Centrífugas	Ambiente interno sem carga solar	28,2	37,0	39,7	31,7	Moderado	220
Verificação da bomba na casa da Cetrel	Casa da Cetrel	Ambiente interno sem carga solar	25,6	32,6	36,1	28,4	Moderado	220
Acompanhamento e verificação na oficina	Oficina	Ambiente interno sem carga solar	28,7	35,1	37,7	31,4	Moderado	220
IBUTG MÉDIO	-		-	-	-	33,0	Moderado	220

Fonte: META, 2015, p. 06.

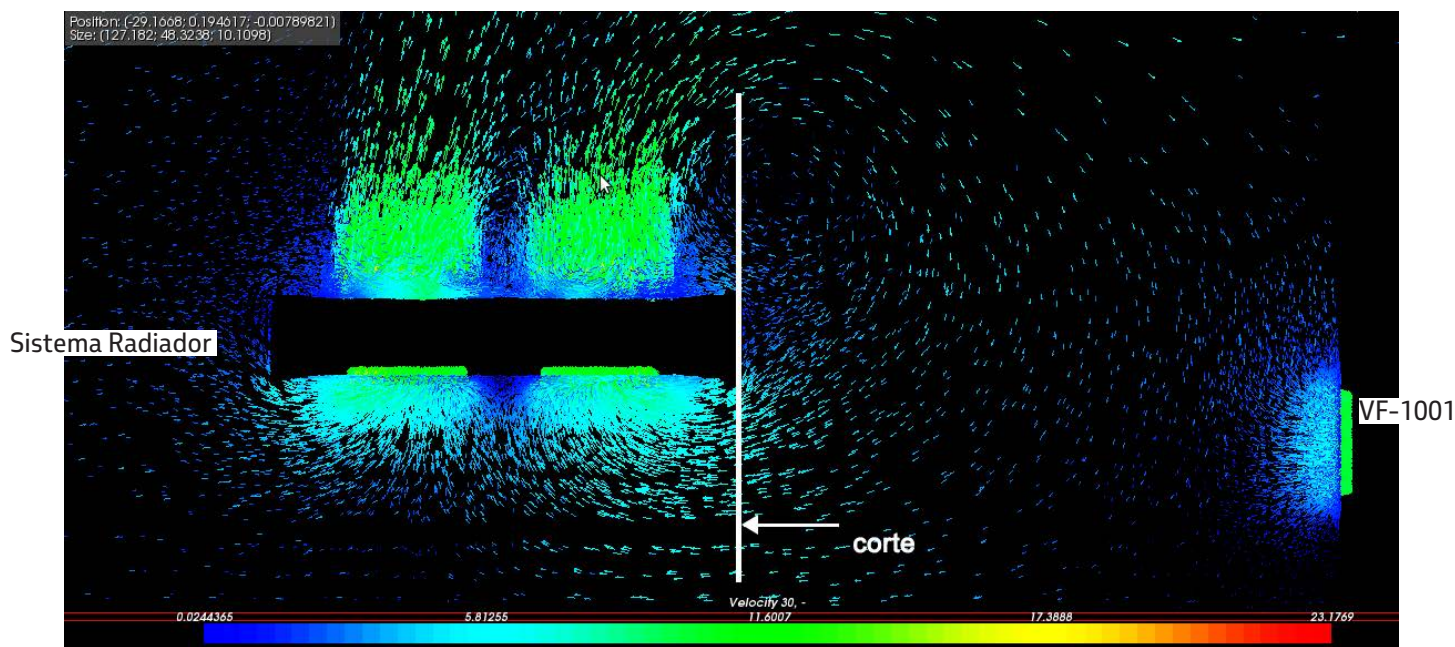
Na configuração atual da usina termelétrica, o sistema de radiadores, que produz bastante calor, ficou instalado em frente à área de sucção dos insufladores VF-1001. A visualização desse fato, com a questão da temperatura da casa de máquinas, incentivou um estudo mais aprofundado dos vetores de velocidade da localidade para comprovar se havia alguma influência externa, via recirculação do ar quente que era produzido pelos radiadores na *powerhouse*.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os resultados levantados pela empresa FINGENER, usando simulações e cálculos vetoriais de velocidade, que comprova que está ocorrendo esse transporte indevido de carga térmica. A partir das informações produzidas, foi realizado um teste de campo: após o desligamento do VF-1001 da unidade geradora

2 e a inversão do seu sentido de rotação, obteve-se uma queda na temperatura do ar de admissão de 41 °C para 37 °C. Surgiu, portanto, como forma de atenuar (ou até mesmo solucionar) os efeitos descritos, a ideia de usar exaustores laterais (alterando a função dos insufladores VF-1001 para exaustores) e no telhado.

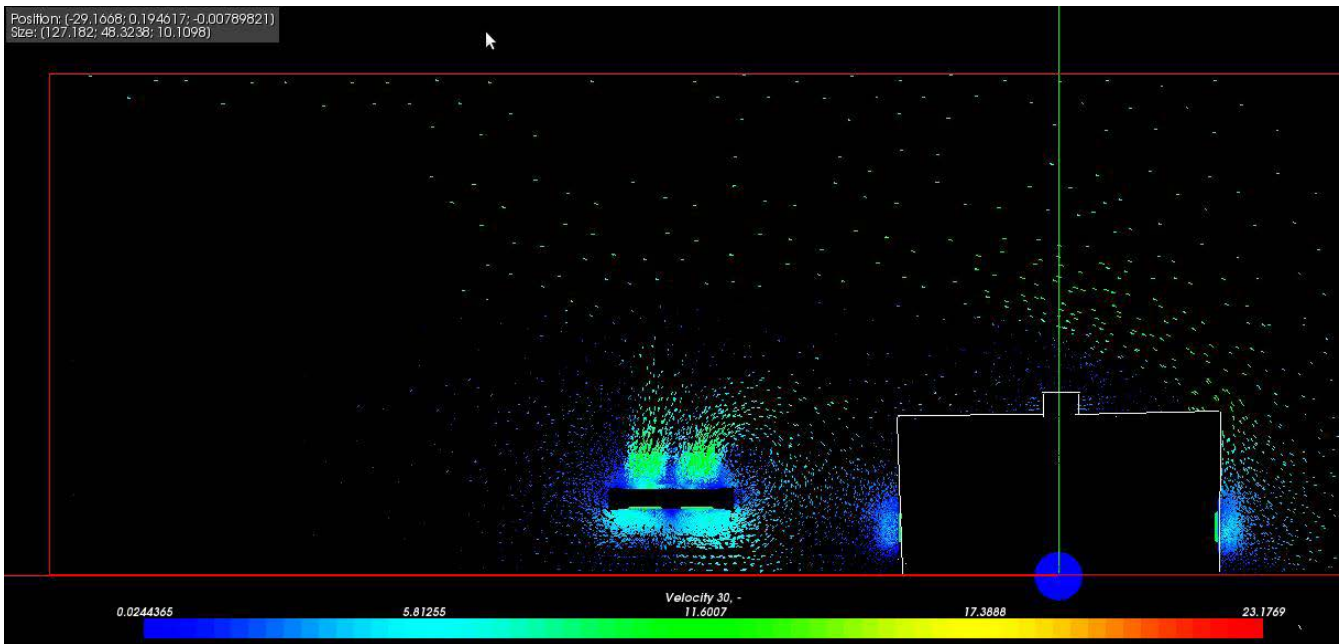
O impacto disso reflete sobre a menor quantidade de combustível que será necessário injetar, para formar a relação estequiométrica ideal da mistura ar-combustível (fator lambda), havendo melhora na qualidade da queima (MTE-THOMSON, 2010), o que infere numa menor emissão de poluentes à atmosfera. Também aumenta a vida útil dos geradores e auxiliares, e a confiabilidade de toda a unidade moto-geradora.

Figura 2 - Detalhe dos vetores velocidade da região dos radiadores (em m/s).



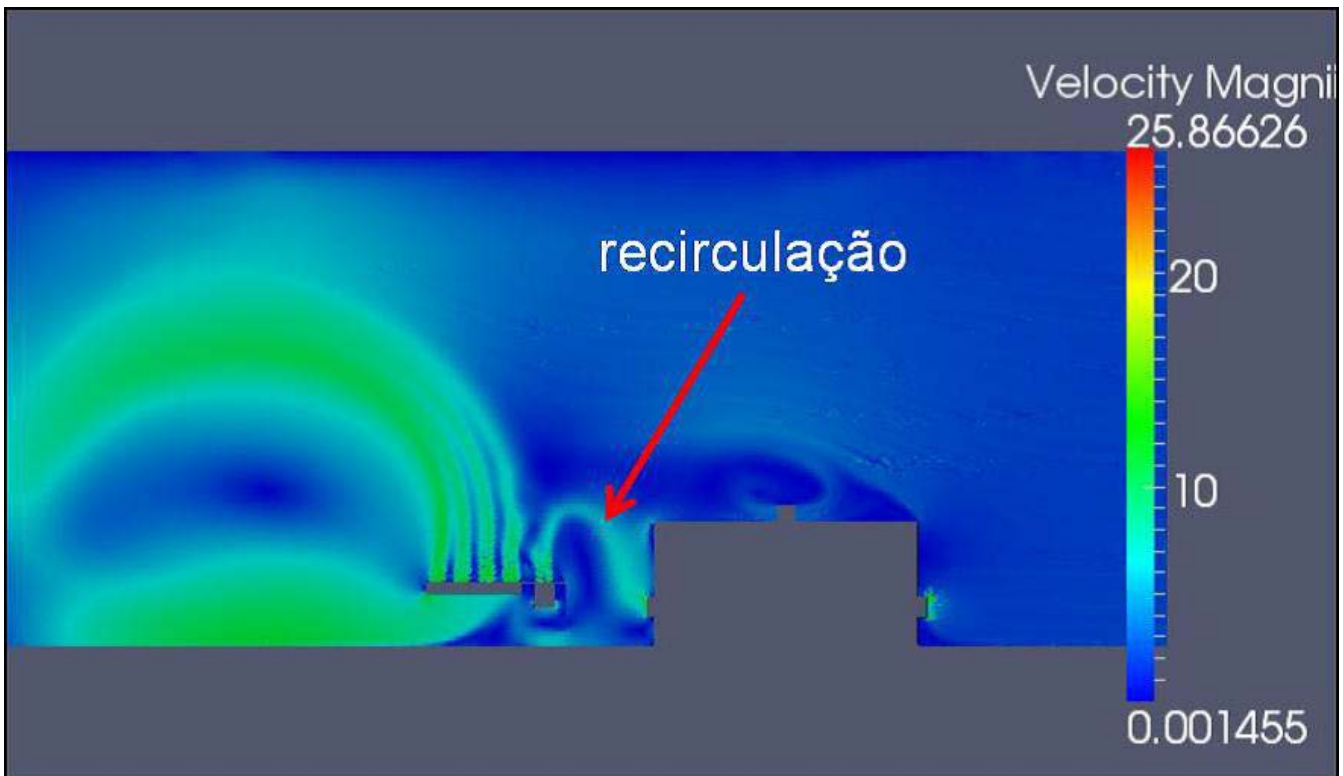
Fonte: ENER, 2013a, p. 06.

Figura 3 - Vista geral dos vetores de velocidade na região do cálculo.



Fonte: FINGENER, 2013b, p. 05.

Figura 4 - Simulação da circulação de ar para instalação dos resfriadores na Área 1.



Fonte: ECM MURICY I, 2008, p. 27.

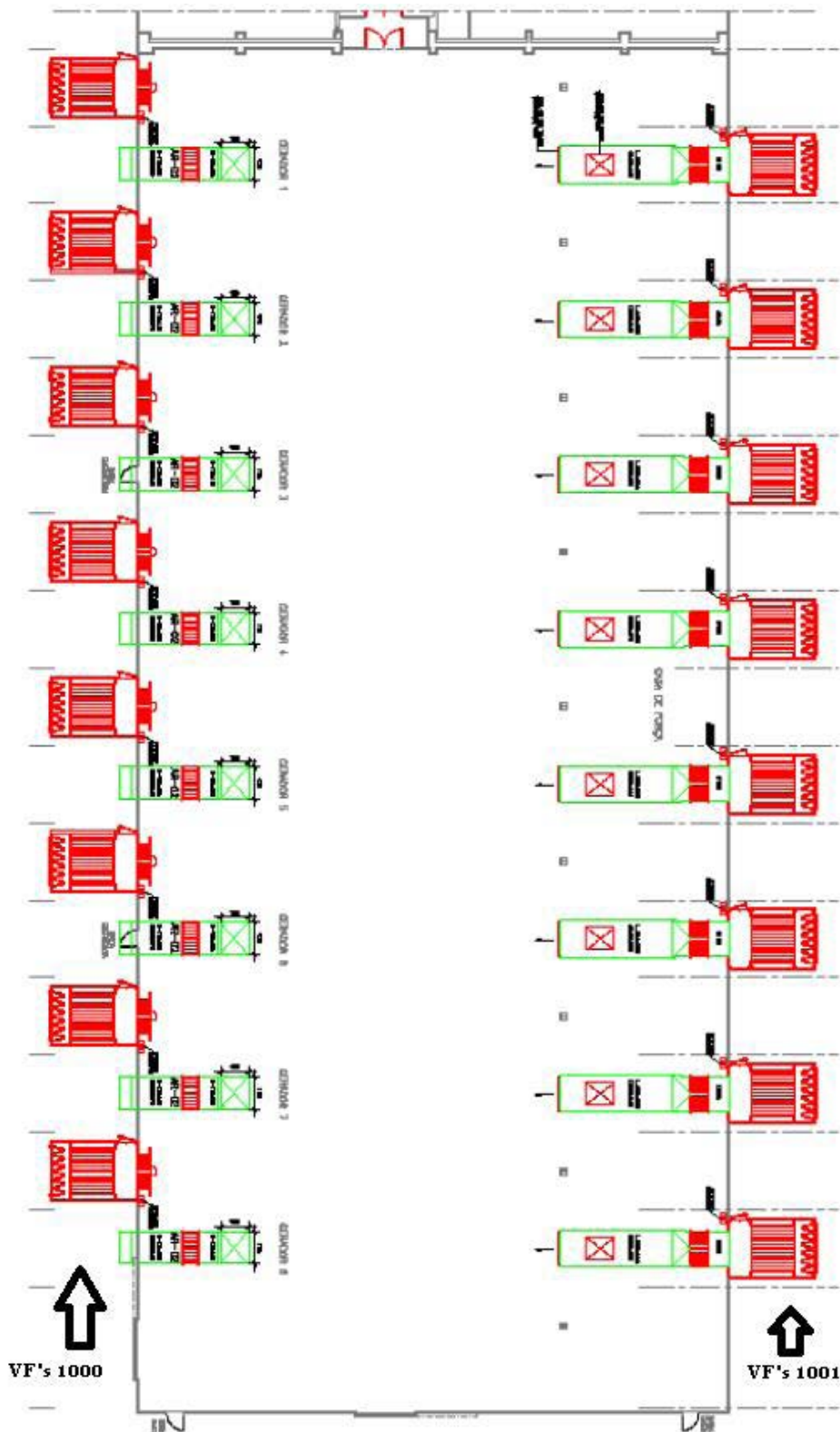
A temperatura máxima que é estimada na sala de geração para o funcionamento regular das unidades moto-geradoras é de 38,7 °C, e o calor irradiado para ambiente interno (pelo motor,

gerador e auxiliares elétricos) considerado originalmente para o cálculo do primeiro dimensionamento, contando com a dispersão dos insufladores, é de 843,4 kW por unidade motogeradora.

Cada insuflador instalado é composto de um motor de 50 cv, de rotação 890 rpm, IP55, 8 polos, 440 V (MAC ENGENHARIA; EFACEC, 2013). Todos estão

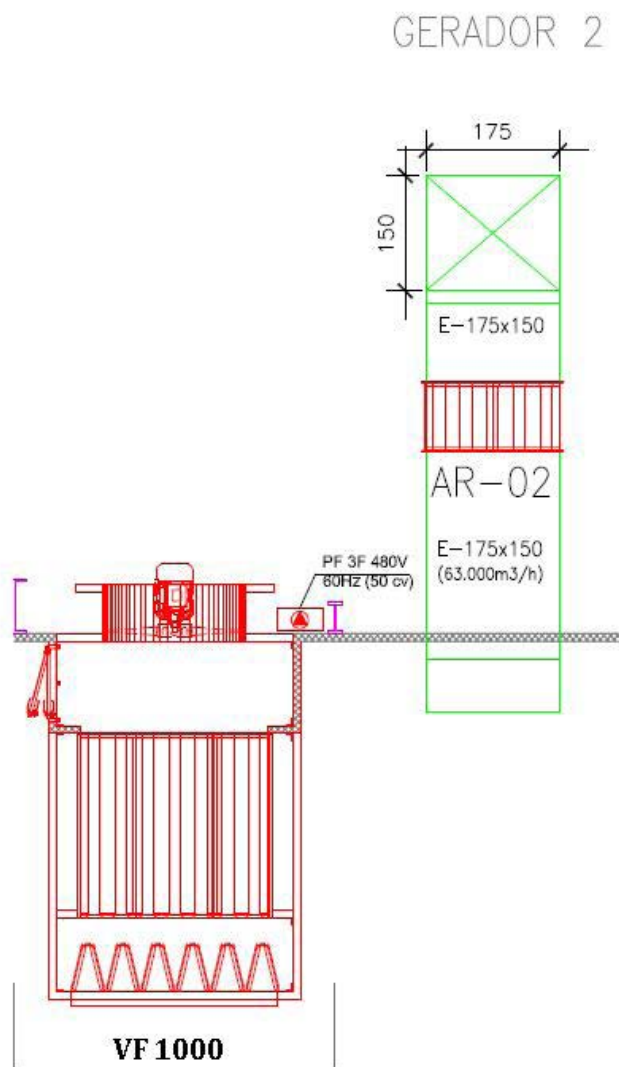
operacionais e são ativos no momento da partida do motor. A Figura 5 ilustra as posições dos VF-1001 (Figura 7), que são todos os insufladores à direita da imagem:

Figura 5 - Localização dos insufladores na casa de máquinas.



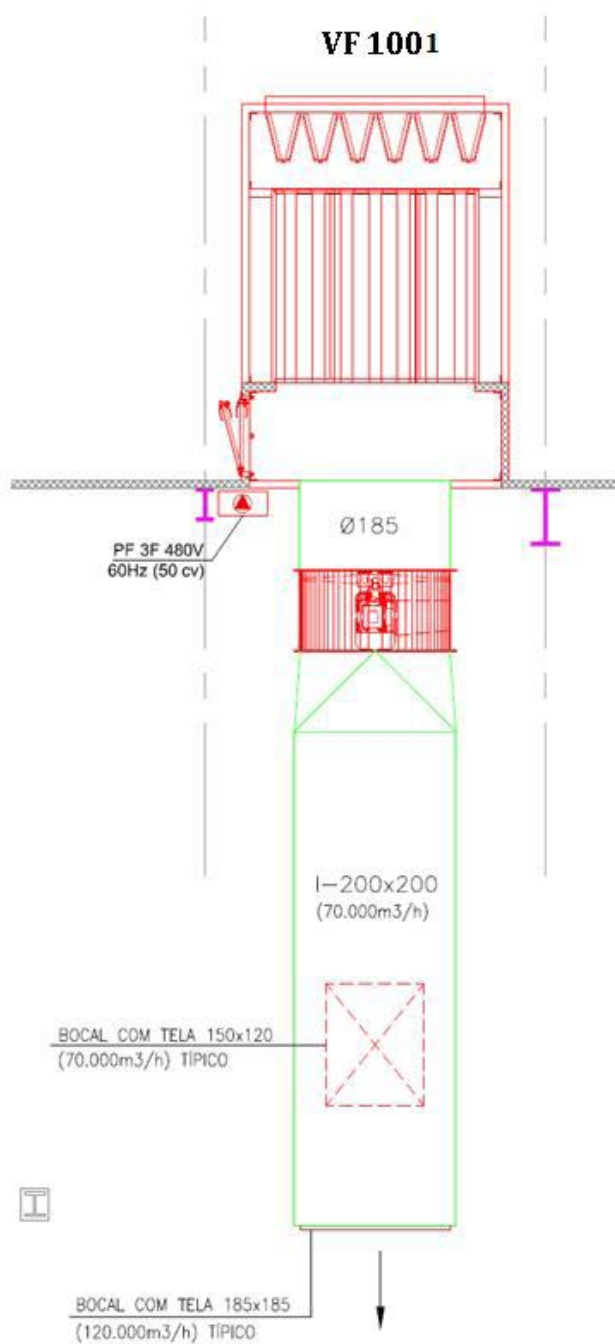
Fonte: ECM MURICY I, 2008.

Figura 6 - Vista individual do insuflador VF-1000.



Fonte: ECM MURICY I, 2008.

Figura 7 - Vista individual do insuflador VF-1001.



Fonte: ECM MURICY I, 2008.

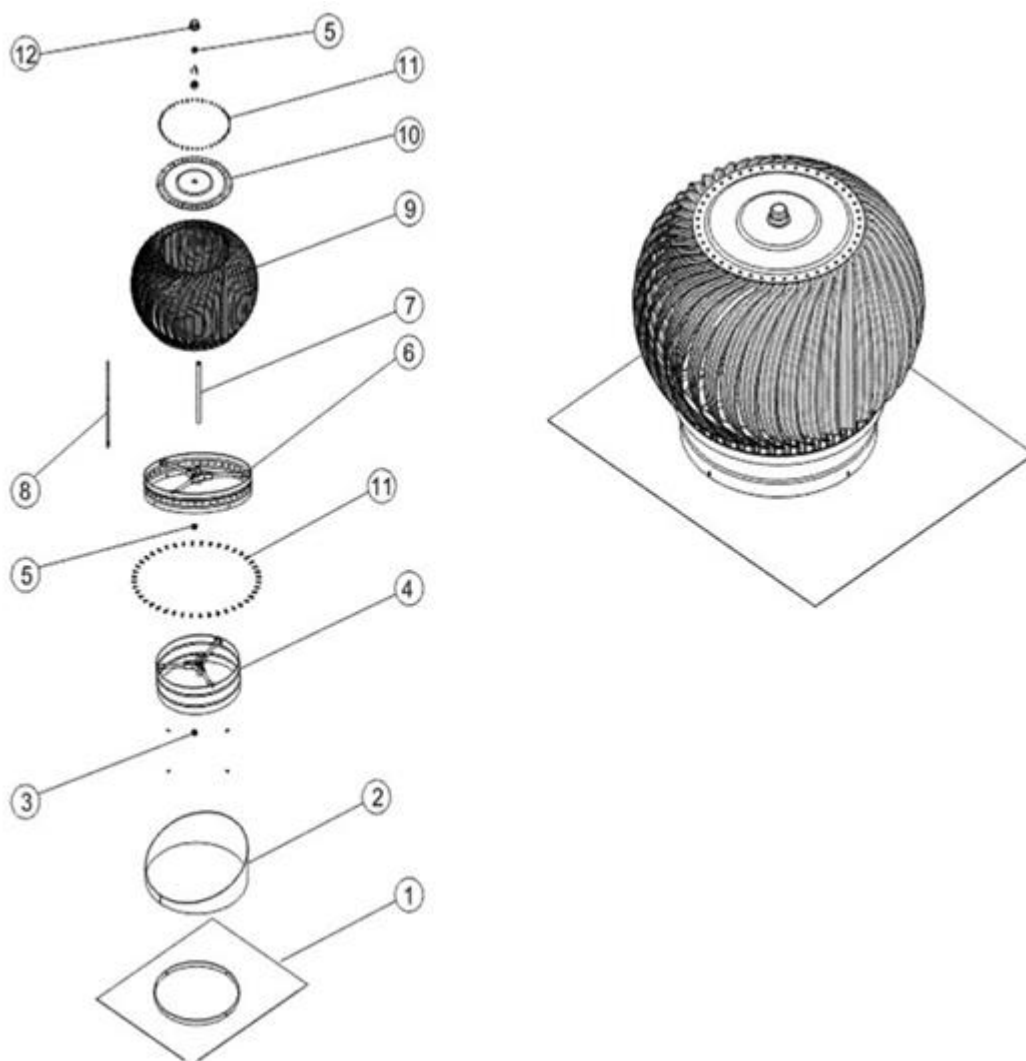
Os exaustores eólicos tradicionais são compostos por aletas móveis externas (9) e dois aros internos: um montado fixo (4) e outro montado móvel (6). O processo de montagem e descrição dos principais componentes está detalhado na Figura 8. Podem ser instalados em qualquer tipo de telhas, com características protetivas em relação à corrosão atmosférica.

As principais medidas dependem de projeto: geralmente possuem 63 cm de altura, sendo 90cm em sua parte mais larga e 57,5 cm em sua extremidade, com capacidade de vazão de 4.000 m³/h, peso de 8,5 kg (VENT NORTE, [201-]). Não produz ruído adicional significativo, não permite entrada de água, é de fácil

instalação e pode ser controlado com motor acoplado ao eixo principal (nesse caso, há gasto de energia elétrica por comando).

Também pode identificar a presença de contaminantes químicos presentes no ar, que são captados e acumulados nos filtros, de categoria a ser escolhida pelo usuário (ARTHUR, 1971). O acionamento ocorre de duas formas: pela força do vento externo (por efeito Bernoulli, Figura 9), que gera um vácuo interno e realiza a expulsão da carga aquecida, ou pela pressão da própria carga térmica do gás interno, que movimenta as aletas por dentro (por efeito Stack, Figura 9).

Figura 8 - Esquema construtivo do exaustor eólico.



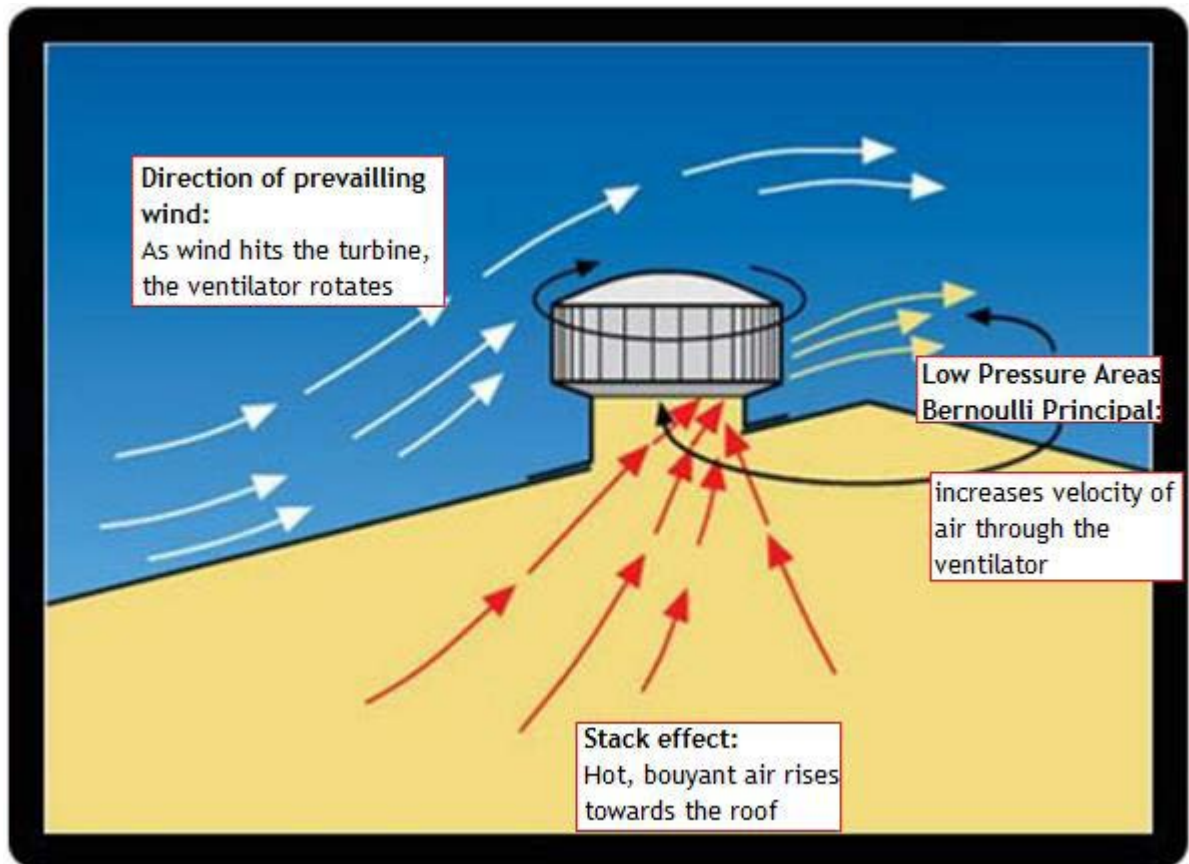
Fonte: RENOVAR, [2015?].

Tabela 1 - Descrição e especificação dos materiais empregados em um exaustor eólico.

POS	CÓDIGO	QNT.	DESCRIÇÃO	MATERIAL	PESO (Kg)
1	3.01.05.036	1	Base 0,43x900x1100	Galvalume	2,4
2	3.01.05.016	1	Nivelador	Galvalume	0,806
3	4.03.04.004	1	Porca Parlack PAC 7/16" x 9/16"	Aço Carbono	0,005
4	3.01.05.009	1	Aro fixo montado	-	1,154
5	4.08.01.003	2	Rolamento 620122	Aço Carbono	0,070
6	3.01.05.010	1	Aro móvel montado	-	1,006
7	3.01.05.017	1	Tubo	Polipropileno	0,048
8	3.01.05.012	1	Eixo \varnothing 11,85x580mm	Aço trel.8SMN28	0,490
9	3.01.05.001	44	Aleta	Alumínio	1,760
10	3.01.05.013	1	Tampa com mancal	-	0,620
11	4.03.04.004	88	Rebite PDP 410	Alumínio	0,176
12	3.01.05.030	1	Protetor do rolamento	Polipropileno	0,014
TOTAL					8,549

Fonte: RENOVAR, [2015?], adaptado pelo autor.

Figura 9 - Efeitos Bernoulli e Stack (Chaminé).



Fonte: ARQUIGRAFICO, 2012.

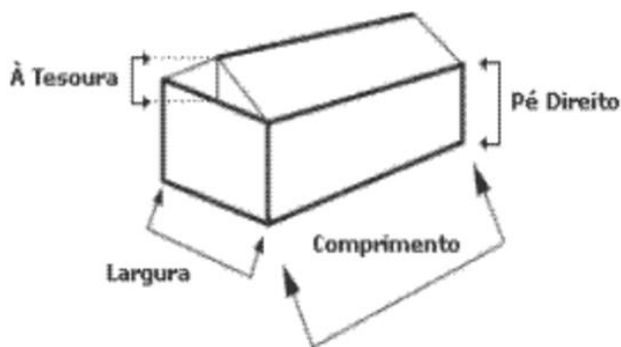
Em caso de ventos fortes, há a necessidade de instalação de braçadeiras para evitar danos ao conjunto (JAIN, [201-?]). A norma utilizada para cálculo é a ABNT NBR 6401 NB-10, que, embora tenha sido substituída pela ABNT NBR 16401, contempla melhor os fatores de trocas de ar/hora para ambientes diversos e instalações com exaustores. A ABNT NBR 16401 se refere mais a projetos de instalação de ar condicionados e qualidade do ar.

Entretanto, da norma atual é possível considerar fatores como o da densidade média de pessoas que frequentam o ambiente, dissipações por fontes luminosas e cálculo de psicrometria (com as outras fontes de calor, como a proveniente das unidades auxiliares principais do motor [como os trocadores de calor, por exemplo], tubos e

silenciadores de gases de escape, compressores de ar de partida, compressores de ar de serviço e controle e de outras tubulações com fluidos quentes) que serão importantes para a correção da definição inicial de projeto, que não os previu, assim como a exaustão dos geradores.

Portanto, segundo a ABNT NBR 6401 NB-10 e ASHRAE, cada ambiente requer um número de trocas de ar/hora. No caso da *powerhouse*, chega a ser necessário de 80 trocas de ar/hora para manutenção das mesmas condições calculadas para os insufladores (VENTCENTER, [201-]). Calcular quantos exaustores seriam necessários é simples: bastaria multiplicar o comprimento, a largura, a altura e o número de trocas de ar/hora do local desejado e dividir o resultado por 4.000 m³/h. Como ilustra a Figura 10:

Figura 10 - Cálculos aplicados para instalação de exaustores em telhado formato tesoura.



BARRACÃO EM TESOURA
 Volume do Ar = $L \times C \times PD = m^3 B$
 Volume da Tesoura = $AT \times L \times C \times 0,50 = m^3 A$
 Volume Total = $m^3 A + m^3 B = Abm^3$
 Vazão ar/hora = $Abm^3 \times n^{\circ} ABNT$
 Vazão 4000 m³/h gráfico = N^o aparelho
 Área Poluída 1x30m²
 Área Poluída 1x40m²

Fonte: RENOVAR, [2015?].

Dadas as dimensões da casa de máquinas, ((31,2 m * 73,8 m * 13,2 m) + (1 m * 31,2 m * 73,8 m * 0,5) - (1.520.000 m³/h [VF 1000])), excluindo inicialmente as variáveis que não entraram no último cálculo, como a quantidade de pessoas que frequentam o local (uma média de 10 por dia, exceto em caso de uma preventiva do motor, que a quantidade pode chegar a pouco mais de 20 pessoas no recinto), as dissipações de calor com iluminação (que são de 22,5 kW no total), além de outras fontes que surgem com a operação nominal (1,648 MW, no total), reputando que os insufladores VF-1001 invertam seu sentido de giro e fiquem responsáveis por 70% da exaustão da massa térmica, 75 exaustores eólicos (5 exaustores por quadrante), o que acarretaria um custo inicial (considerando custo unitário por exaustor de R\$ 200,00) de R\$ 15.000,00, que seria repostos em um dia no máximo.

Trata-se de um investimento a curto prazo. Se os VF-1001 ficarem responsáveis por apenas 50% da exaustão da massa térmica, seriam necessários 125 exaustores no telhado (8 exaustores por quadrante), com custo inicial de R\$ 25.000,00.

O presente quantitativo expresso em porcentagens define não apenas a corrente inversa a ser aplicada nos equipamentos insufladores vf-1001 que gera trocas de ar laterais que são benéficas para o turbo-charge do motor e aumento de vida útil do vf-1001 (redução que pode ser feita também por variador de frequência ou por relação polia-correia), mas também abrange a disponibilidade do telhado, em quesito de peso e espaçamento, de comportar exaustores eólicos com margem de segurança operacional, sendo que o tipo de proteção contra descargas

atmosféricas utilizados é o da gaiola de faraday, na qual a distância entre os fios componentes da malha são de 9,1 m no sentido do comprimento e de 10,38 m no sentido de largura, já contando com a medida da elevação no centro do telhado.

Podem-se instalar, ao todo, 9 exaustores por quadrante e, como há 16 quadrantes, o total seriam 144 exaustores, já inclusa a distância mínima entre eles de 1 m. Se utilizada a capacidade total para instalação, o custo total seria de R\$ 28800,00, também constituindo um investimento de curto prazo. As hipóteses citadas corroboram meramente outros modos de produção com menor quantidade de exaustores, utilizando como base a atribuição de massa térmica para o vf-1001.

Caso seja de interesse da unidade resolver o subdimensionamento dos insufladores, como já constatado, é possível expandir o sistema de ventilação com o acréscimo de insufladores na parte superior aos insufladores já instalados, com o fluxo direcionado para baixo com o dobro da capacidade calculada de operação equivalente ao vf-1001 mais a ventilação para as dissipações adicionais.

Com o aumento do sistema de insuflamento, o custo seria de aproximadamente R\$ 70.000,00 por unidade geradora. Importante, na implantação do projeto, verificar a possibilidade de geração de energia quando os insufladores/exaustores estiverem desligados, por continuarem em rotação menor pela força dos ventos. Isso demandaria um estudo de viabilidade de instalação de rotor bobinado, com uso do anemômetro. Mas não há, neste artigo, a pretensão de entrar nesse mérito.

A vazão média do novo conjunto seria de 740000 m³/h para as unidades motogeradoras de 01-07, e 780000 m³/h para a unidade motogeradora 08. Foram feitos os cálculos pelo método usado pela EFACEC (empresa que dimensionou os insufladores) e o método através dos dados obtidos da BWSC. A esse valor, somaram-se os 190000 m³/h do vf-1001 e foi selecionado o maior valor entre os dois. Para especificação da vazão média do novo conjunto insuflador (vf-1002), entraram as seguintes tabelas na equação:

Tabela 2 - Tabela de emissão de calor e fluxo de ar necessário para ventilar as unidades motogeradora 01 – 07.

Equipamento	Emissão de calor da unidade (kW)	Fluxo de massa de ar ventilado (kg/s) para manter ΔT = 4°C
Unidades auxiliares principais do motor	165	41,2
Tubos e silenciadores de gases de escape	30	7,50
Outras tubulações com fluidos quentes	5	1,20

Fonte: BWSC, 2007, adaptado pelo autor, p. 04.

Tabela 3 - Tabela de emissão de calor e fluxo de ar necessário para ventilar a unidade motogeradora 08.

Equipamento	Emissão de calor da unidade (kW)	Fluxo de massa de ar ventilado (kg/s) para manter ΔT = 4°C
Unidades auxiliares principais do motor	165	41,2
Tubos e silenciadores de gases de escape	30	7,50
Compressores de ar de partida	24	6,00
Compressores de ar de serviço e controle	24	6,00
Outras tubulações com fluidos quentes	5	1,20

Fonte: BWSC, 2007, adaptado pelo autor, p. 04.

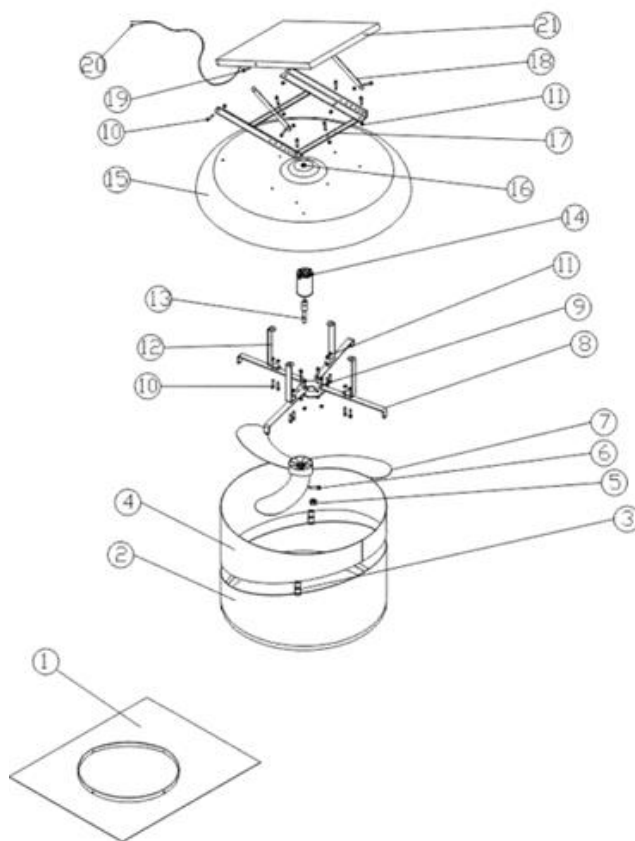
No caso de não se considerar um investimento para ampliação do conjunto ventilador/exaustor, pode-se fazer uma adaptação de forma que haja maior troca de gases no centro da casa de máquinas, ou vice-versa: apenas os insufladores VF-1001 centralizados/próximos das laterais teriam seu sentido de rotação alterado, reduzindo a introdução de massa de ar quente dos radiadores e gerando um fluxo alternativo para o ar aquecido. Tal aplicação exige um estudo técnico específico e mais teste de campo.

A localização geográfica da usina (por não estar perto de nenhuma comunidade) é vantajosa, não havendo a dificuldade que se poderia ter com as consequências de saída de ruído da casa de máquinas com a instalação dos exaustores. Segundo a norma NR-15, esse ruído deve ser menor que 85 dB para uma exposição contínua de 8 horas. Há silenciadores que podem ser utilizados caso o nível de ruído ultrapasse o estabelecido por norma.

Para essa mesma finalidade existe também no mercado os exaustores solares, que podem ser do tipo *stander*, no qual a energia obtida pela placa fotovoltaica seria inteiramente usada no processo de exaustão, ou híbrida, funcionando também à noite, com a alimentação da rede. Pode comportar movimento em sua estrutura para melhor absorção dos raios solares e conseqüente melhor produção energética durante o dia.

Também não há infiltração de água para o interior da casa de máquinas. Possui uma placa fotovoltaica monocristalina de 20W e 12V, onde será gerada a energia para motor de 30W e 12V de corrente contínua (Figura 11). Sua desvantagem é quanto ao investimento inicial, que é maior. A Figura 12 explica qual dos três sistemas é mais eficiente, em função do tempo.

Figura 11 - Esquema construtivo de um exaustor solar.



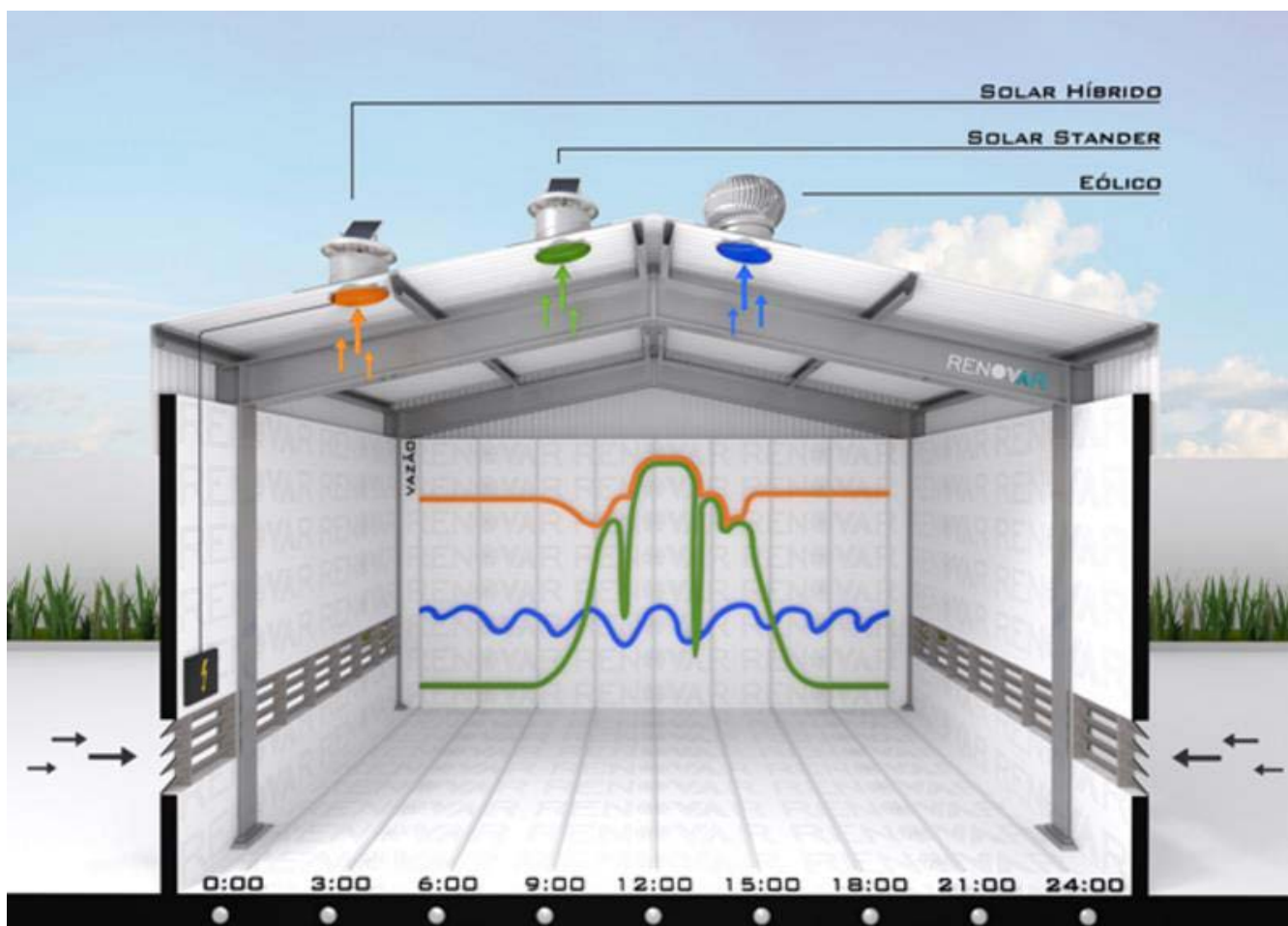
Fonte: RENOVAR, [2015?].

Tabela 4 - Descrição e especificação dos materiais empregados em um exaustor solar.

POS	CÓDIGO	QNT.	DESCRIÇÃO	MATERIAL	PESO (Kg)
1	3.01.07.038	1	Base galvanizada	Chapa galvanizada	2,425
2	3.01.07.002	1	Nivelador inferior	Chapa galvanizada	2,240
3	3.01.07.003	2	Chapa trava nivelador	Alumínio	0,002
4	3.01.07.001	1	Nivelador superior	Chapa galvanizada	2,140
5	4.03.02.016	1	Porca rarlock 7x16/14	Aço zincado	0,005
6	4.03.01.027	1	Parafuso M3x30 Allen	Aço zincado	0,001
7	4.05.01.050	1	Hélice plástico solar	Plástico	0,260
8	3.01.07.011	4	Suporte do motor	Aço zincado	0,520
9	3.01.07.004	1	Disco suporte do motor	Aço zincado	0,130
10	4.03.01.031	22	Parafuso Allen M5x30 ZINC Branco	Aço zincado	0,110
11	4.03.02.002	26	Porca M5 zincada	Aço zincado	0,052
12	3.01.07.012	4	Suporte da tampa	Aço zincado	0,340
13	3.01.07.005	1	Bucha da hélice galvanizado	Aço galvanizado	0,060
14	4.04.01.041	1	Motor corrente contínua 12V solar	-	0,955
15	3.01.07.007	1	Tampa do solar	Alumínio	1,345
16	3.01.07.010	1	Passa fio	Borracha	0,001
17	3.01.07.008	1	Base reguladora do módulo	Aço zincado	1,500
18	3.01.07.009	2	Haste reguladora do módulo	Aço zincado	0,095
19	4.03.01.030	4	Parafuso Allen M5x30 ZINC Branco	Aço zincado	0,008
20	4.07.01.001	1	Terminal Fêmea	-	-
21	3.01.07.006	1	Módulo solar	-	2,560
				TOTAL	14,75

Fonte: RENOVAR, [2015?], adaptado pelo autor.

Figura 12 - Estudo estimativo de vazão dos equipamentos em um dia típico de verão.



Fonte: RENOVAR, [2015?].

Para essa aplicação, seria preciso um investimento (considerando R\$1.600,00 a unidade) R\$ 120.000,00 inicial, com previsão de retorno também em um dia. Seria, igualmente, um investimento a curto prazo.

A Unidade de Operações FAFEN de Sergipe possui normas internas registradas na Petrobras pertinentes para as aplicações e instalação de exaustores que podem auxiliar no planejamento de manutenção dos exaustores a ser implantados na Muricy, as que seguem abaixo:

- PG-100-00028 - Liberação, isolamento, bloqueio, raqueteamento e aviso (libra);
- PP-100-00025 - Permissão para trabalho;
- PG-200-00037 - Análise crítica do sistema de gestão integrada;
- PG-200-00042 - Competência, conscientização e treinamento;
- PG-200-00048 - Gestão de resíduos sólidos;
- PE-5AS-00054 - Plano de manutenção de equipamentos dinâmicos;
- PE-5AS-00378 - Procedimento de atendimento aos clientes da manutenção;
- PE-4AS-00041 - Exigências de segurança, meio ambiente e saúde para contratadas;
- PE-3AS-00058 - Segregação, acondicionamento, armazenamento e destinação de resíduos sólidos e semissólidos;
- PE-3AS-00026 - Equipamento de proteção individual;
- PP-100-00007 - Tratamento de anomalias;
- PE-5FM-00201-0 - Manutenção e revisão geral de sopradores, exaustores e ventiladores;
- PE-5AS-00258-H - Manutenção dos exaustores SP-129403 A/B/C/D (Procedimentos);
- PE-5AC-01139-C - Turbo ventilador insuflador e exaustor (Testes).

4 CONCLUSÕES

Com todos os fatores apresentados, é verídico postular que o uso dos insufladores VF-1001 na casa de máquinas seria mais eficaz se invertido o seu sentido de rotação, dirimindo custos de manutenção ao estender a vida útil das peças dos motores que realizam troca de calor com a temperatura ambiente da casa de máquinas. Verifica-se uma melhoria nos indicadores de qualidade de trabalho (iluminação, salubridade e ventilação) da *powerhouse*, assim como um melhor controle térmico dos equipamentos instalados, que permite a operação dos mesmos com maior confiabilidade e em outras faixas de trabalho, com a recuperação do investimento inicial em um dia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT NBR 6410 N10: instalações centrais de ar-condicionado para conforto: parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **ABNT NBR 5484:** Motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão (diesel) ou ignição por centelha (otto) de velocidade angular variável. Rio de Janeiro, 1978.

ARQUIGRAFICO. **Wind driven roof ventilators:** how cool an space without electricity. 2012. Disponível em: < <http://www.arquigrafico.net/wind-driven-roof-ventilators-how-cool-an-space-without-electricity/>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

ARTHUR D. LITTLE. Chemical identification of the odor components in diesel engine exhaust. **Final report (year 3)**. coordinating research council and environmental protection agency. Cambridge. 1971. Report n. ADL 62561-5. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/9101G0ZG.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=Prior+to+1976&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A\zyfiles\Index%20Data\70thru75\Ttxt\00000021\9101G0ZG.txt>&User= ANONYMOUS&Password= anonymous

&SortMethod=hl-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/75g8/x150y150g16/i425&Display=plf&DefSeekPage=x&SearchBack= ZyActionL&Back =ZyActionS &BackDesc =Results%20page&MaximumPages =1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL> . Acesso em: 10 mar. 2016.

BWSC, MAN. **Heat emmision, from bwsc supplied equipment:** 2956.M0.V01. nov. 2007. Projeto.

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Resolução nº 01/78.** Aprova o texto normativo em anexo, como: a) Norma Brasileira Compulsória (NBR1); b) NBR 5929 - Motores de combustão interna alternativos veiculares a etanol (Especificação). Brasília, DF, 1978. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000099.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

CONTESINI, Leonardo. **Como funciona a injeção eletrônica?**, 2014. Disponível em: <www.flatout.com.br/como-funciona-a-injecao-eletronica/>. Acesso em: 18 mar. 2016.

ECM MURICY I. **Projeto de instalação dos insufladores na casa de máquinas.** 2008. Arquivo AutoCAD.

FINGENER. **Radiadores x sala de máquinas:** impacto da região de estagnação do vento sobre a recirculação da descarga dos radiadores. Energética Camaçari Muricy I. 2013a. Relatório. Word.

_____. **Ampliação do sistema de arrefecimento dos motores.** Energética Camaçari Muricy I. 2013b. Estudo preliminar. PDF.

JAIN, Helen. **How to keep rain from blowing in attic vents**, [201-?]. Disponível em: <http://www.ehow.com/how_7571800_keep-rain-blowing-attic-vents.html>. Acesso em: 19 mar. 2016.

MAC ENGENHARIA: EFACEC. **UTE MURICY I:** sistema de ventilação mecânica da casa de força. 2013. Memorial de cálculo. Word.

META. **UTE MURICY I.** Avaliação da exposição ocupacional ao agente físico calor. Camaçari, 2015. Relatório.

MTE-THOMSON INDÚSTRIA E COMÉRCIO.

Informações técnicas, diagnóstico dos componentes, verificação de circuitos e componentes, sistema de arrefecimento.

2010. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3200917-Informacoes-tecnicas-diagnostico-dos-componentes-verificacao-de-circuitos-e-componentes-sistema-de-arrefecimento-temperatura-e-injecao-eletronica.html>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

PETROBRAS. **Avaliação da classificação de áreas da UTE MCY I:** RL-9304.00-7501-94A-PEI-001. abr. 2015. Relatório.

RENOVAR. **Exaustor eólico:** Renovar Ventilação, [2015?]. Disponível em: <<http://www.renovarventilacao.com.br/produtos/exaustor-eolico/>> Acesso em: 17 mar. 2016.

UTE CAMAÇARI MURICY I. **Sistema de proteção de descarga atmosférica cortes e detalhes:** C-E73700008-1-304. jun. 2008. Projeto.

VENTCENTER INDUSTRIAL. **Exaustor eólico.** [201-]. Disponível em: <<http://www.ventcenter.com.br/exaustor-eolico.php>>. Acesso em: 17 mar. 2016.

VENT NORTE. **Exaustor axial e exaustor eólico em São Paulo:** ventilação industrial. [201-]. Disponível em: <<http://www.ventnorte.com.br/exaustor-axial-eolico-ventilacao-industrial-sao-paulo.html>>. Acesso em: 17 mar. 2016.





Equipamentos do sistema de aquecimento na sala da caldeira
Fonte: Istockphoto



Vitor Mascarenhas Pères

Técnico (2015) em Eletrotécnica pelo IFBA. Petrobras. GE/OAE/UTE-MCY-ABP-BH1/OM-MCY – Salvador, BA – E-mail: vitormascarenhas@petrobras.com.br



Sonaldo Vital de Oliveira Junior

Graduação (2009) em Engenharia Elétrica pela UFCG. Petrobras. GE/OAE/UTE-MCY-ABP-BH1/OM-MCY – Salvador, BA – E-mail: sonaldo@petrobras.com

ENVIO DE ARTIGOS

Os originais serão submetidos à aprovação de especialistas reconhecidos nos temas tratados. Os trabalhos serão enviados para avaliação sem identificação de autoria.

Excepcionalmente, serão aceitos trabalhos que já tenham sido publicados em periódicos estrangeiros. Nesse caso, serão sujeitos à mesma avaliação de originais inéditos.

O autor deverá apresentar autorização por escrito do editor da revista em que seu texto tenha sido originalmente publicado, acompanhado de cópia do artigo.

O conteúdo dos artigos é de responsabilidade exclusiva dos autores.

O envio de artigos para submissão deve ser feito para:
Email: revistatecnicaup@petrobras.com.br ou Chave: u5js

Somente é permitido citar parte dos artigos, sem prévia autorização,
com a identificação correta da fonte.

Laboratório de Imersão em Simulações de Processos e Equipamentos

Foto da capa:

Andre Domingues Quelhas

Rafael Sant'anna do Nascimento

Cecilia Pereira Rodrigues.

Fonte: Caroline Campos Leal Sobral.

RECURSOS HUMANOS/UNIVERSIDADE PETROBRAS

R. Ulysses Guimarães, 565, Cidade Nova. - Rio de Janeiro – RJ

