

ANÁLISE DE RAM (*RELIABILITY, AVAILABILITY AND MAINTAINABILITY*) POR SIMULAÇÃO BASEADA EM EVENTOS DISCRETOS APLICADA À INDÚSTRIA OFFSHORE

Tobias Vieira Alvarenga

Det Norske Veritas - Rua Sete de Setembro, 111 – 12º andar – Rio de Janeiro – 20050-002

tobias.vieira@dnv.com

Annibal Parracho Sant'Anna

Universidade Federal Fluminense – Rua Passo da Pátria, 156 Niterói—RJ 24210-240

annibal@producao.uff.br

Resumo

Este artigo apresenta um exemplo de aplicação da técnica de Análise de RAM à “indústria” do petróleo, mais especificamente, a um projeto de um sistema de transferência de petróleo de uma plataforma de produção. Para tal é utilizada uma moderna ferramenta de análise confiabilidade, disponibilidade e eficiência produtiva (software MAROS) que faz uso de recursos de simulação por eventos discretos. Mais adiante o artigo mostra que a aplicação prática de alguns dos recursos desta ferramenta permite avaliar o impacto de diversas variáveis sobre a operação, tornando possível identificar opções e alternativas capazes de otimizar atributos de confiabilidade, disponibilidade e eficiência produtiva do projeto em questão.

Palavras-chave: Confiabilidade, Disponibilidade, Eficiência Produtiva, Manutenibilidade Simulação, Eventos Discretos, Petróleo, RAM, Diagrama de blocos.

Summary

This paper shows an example of RAM Analyses applied to the petroleum industry, more specifically, to a project of a petroleum transfer system of a production platform. For doing that, is used a modern reliability, availability and production efficiency tool (MAROS software), which makes use of discrete events simulation theory. Furthermore, the paper shows that practical application of some resources of that tool allows evaluating the impact of several variables over the operational process, making possible to identify options and alternatives able to optimize reliability, availability and production efficiency attributes of the project under analysis.

Key-words: Reliability, Availability, Production Efficiency, Maintainability, Simulation, Discrete Events, Petroleum, RAM, Block Diagrams.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil vem fazendo esforços para se tornar auto-suficiente no que tange a produção de derivados do petróleo. O Brasil nunca esteve tão próximo de alcançar este objetivo. Entretanto, todo esforço de desenvolvimento, seja em qual for o segmento industrial, deve vir acompanhado, ou talvez precedido, de investimento em infra-estrutura básica.

No caso específico da busca pela auto-suficiência em petróleo, tem-se observado que em termos de reservas de petróleo o Brasil já tem condições de alcançar este objetivo. Entretanto há uma carência de recursos físicos para realizar a exploração desejada.

Neste artigo são analisados atributos de confiabilidade, disponibilidade e eficiência produtiva de um projeto de um sistema de transferência de petróleo de uma plataforma de produção. Os subsistemas considerados são somente aqueles que contribuem de forma direta ou indireta para a operação de escoamento de petróleo de alto mar para terminais e refinarias, seja por intermédio de oleodutos ou de navios aliviadores.

A metodologia aplicada à Análise de RAM é a simulação de rede por eventos discretos. Trata-se de uma técnica quantitativa de análise de confiabilidade. O princípio básico da simulação de rede é o da geração de eventos discretos através de um modelo computacional, que busca criar um cenário realístico de vida dos componentes de um sistema. Portanto, uma simulação por eventos discretos é uma modelagem do comportamento dinâmico de todo o sistema através da descrição dos seus estados e das alterações destes em função da ocorrência de eventos.

A problemática em análise apresentada neste artigo compreende uma situação hipotética, perfeitamente viável de ser observada atualmente na indústria *offshore* e que se encontra descrita nas seções a seguir.

A partir da análise dos resultados obtidos através da modelagem do sistema proposto (caso de referência), é possível considerar algumas variações do caso de referência de modo a verificar possíveis oportunidades de melhorias aplicáveis ao projeto em questão.

2 ANÁLISE DE REQUISITOS

O principal requisito de confiabilidade analisado é a disponibilidade do projeto de um sistema de transferência de petróleo de uma plataforma de produção.

Atualmente, na indústria de plataformas *offshore* um índice de disponibilidade de sistemas como este em torno de 99,80% é bastante razoável. Como no presente artigo não estão sendo analisados todos os sistemas envolvidos, e sim apenas os sistemas responsáveis diretamente pelo escoamento do petróleo, é assumido o valor de 99,83% de disponibilidade como requisito mínimo para as instalações em questão. Cabe ressaltar que este valor de disponibilidade (99,83%) é apenas um número hipotético, não devendo, portanto servir de referência para estudos comerciais.

3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA

Um sistema de transferência de petróleo de uma plataforma de produção qualquer tem por função extrair e exportar o petróleo de alto mar para terminais e refinarias, seja por intermédio de oleodutos ou de navios aliviadores. Neste estudo também estão incluídos os sistemas secundários (utilidades) que servem de suporte ao sistema em questão.

Nesta seção estão descritos os principais arranjos de componentes considerados de modo a reproduzir um típico sistema de transferência de petróleo, bem como, todas as demais premissas do suposto projeto. O sistema de transferência de petróleo está dividido em dois grandes blocos, compostos de alguns subsistemas:

- ♣ **Utilidades:** Ar de Instrumento, Geração de Energia, Água de Resfriamento, Captação de Água do Mar, Óleo Diesel/ Gás Combustível, Rejeito.

- ♣ **Bombas de Transferência de Petróleo:** Bombas Auxiliares e Bombas Principais.

Os subsistemas foram estruturados conforme apresentado a seguir, com os caracteres entre parênteses após o nome de cada componente representando, respectivamente, a quantidade de componentes no sistema e o percentual da demanda atendido pela sua capacidade produtiva:

- ♣ **Ar de Instrumento:** Compressores de ar (2x100%), Secadoras (2x100%), Receivers (2x100%).

- ♣ **Geração de Energia:** Turbogeneradores (3x100%)

- ♣ **Água de Resfriamento:** Bombas de água de resfriamento (3x50%), Trocadores de calor (2x50%), Tanques de expansão (2x100%).

- ♣ **Captação de Água do Mar:** Bombas de captação de água do mar (3x50%), Filtros (2x100%).

- ♣ **Óleo Diesel/ Gás Combustível:** **Gás Combustível** - Pré-aquecedores (3x50%), Trocadores de calor (2x100%), Vasos de K.O. (2x100%), Bombas de condensado (2x100%); **Óleo Diesel** - Filtros (2x100%), Tanques de estocagem (2x50%), Bombas de transferência de diesel purificado (2x100%), Purificadores de diesel (2x100%), Tanques de distribuição (2x100%), Bombas de distribuição de diesel (2x50%), Filtros na distribuição de diesel (2x100%).

- ♣ **Rejeito:** Vasos de Rejeito (2x100%), Bombas de Rejeito (2x100%).

- ♣ **Bombas Auxiliares de Transferência de Petróleo (3x50%)**
- ♣ **Bombas Principais de Transferência de Petróleo (3x50%)**

Como forma de explorar os recursos de simulação e tornar esta aplicação teórica mais próxima da prática, é assumido um perfil também hipotético de curva de produção de petróleo. Na Tabela 1 está apresentado o perfil de produção considerado nesta análise.

Tabela 1 – Perfil de produção (em Mm³) por dia

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ano | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| Vol. | 40 | 100 | 150 | 175 | 190 | 200 | 200 | 190 | 170 | 150 | 140 | 130 | 120 | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 25 |

Observa-se que a produção inicial é de 40 mil metros cúbicos e que o pico de produção, 200 mil metros cúbicos de óleo, ocorre durante o sexto e o sétimo ano de operação.

4 MODELAGEM

Uma vez definido o sistema, bem como as premissas necessárias para a fundamentação de uma determinada Análise de RAM, deve-se criar uma diagramação de blocos que represente o comportamento dinâmico de todo o sistema, através de esquemáticos lógicos do arranjo funcional a ser analisado.

4.1 PREMISSAS

- 1) **Taxas de Falha e Tempos de Reparo:** As falhas ocorrem de forma aleatória, com o tempo até falhar seguindo distribuição exponencial. Os tempos de reparo foram considerados como estando distribuídos de acordo com uma distribuição log-normal, onde é assumido que a moda corresponda a 70% do valor da média.
- 2) **Eventos Considerados:** São considerados eventos de falha que afetam o desempenho dos grandes equipamentos e que estejam ligados diretamente ao processo produtivo, não sendo considerados eventos externos, tais como colisão de navios, eventos que afetem a estabilidade da plataforma, queda de objetos, fatores humanos, incêndio e explosão, etc.
- 3) **Conseqüências das Falhas:** Os diversos modos de falhas dos componentes são considerados de forma agrupada nas seguintes categorias: Crítico, Degradado, Incipiente e Desconhecido. Na ocorrência de uma falha pode ser considerado um tempo de atraso antes do início efetivo do reparo. Para um modo de falha crítico, a conseqüência imediata da falha para a função exercida pelo componente no sistema é de 100%, sendo que, durante o reparo efetivo, a conseqüência devido à perda da função no sistema é de 100%. Para um modo de falha degradado, as conseqüências imediatas da falha causam um impacto de 30%, sendo o impacto de 100% durante a realização do reparo. Para um modo de falha incipiente, não há perda de produção na ocorrência da falha, sendo, porém o impacto de 100% durante a execução do reparo.
- 4) **Suprimento para Turbogeneradores (TGs):** Os turbogeneradores são assumidos como normalmente alimentados com gás combustível. Entretanto, no caso de falha do suprimento de gás combustível, é admitida a ocorrência de comutação automática para o sistema de óleo diesel. É assumido que a falha simultânea de dois dos três TGs impossibilita qualquer operação de transferência de óleo. As manutenções preventivas dos TGs foram estimadas conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação de tarefas de manutenção Preventiva / Preditiva dos TGs

| Periodicidade (Horas) | TAREFA | TEMPO (Horas contínuas) |
|-----------------------|---|-------------------------|
| 4.000 | Boroscopia, análise de vibração, Lavagem do GG e análise de óleo lubrificante | 10 |
| 24.000 | Troca da seção quente | 36 |
| 30.000 | Overhaul do gerador de gás | 84 |
| 50.000 | Overhaul da turbina de potência | 72 |

*Fonte: Típicos da indústria offshore.

- 5) **Válvulas:** É assumido que são relevantes apenas as válvulas *on-off* de saída das bombas auxiliares e principais.
- 6) **Incêndio/ Explosão:** Não são considerados eventos associados a incêndio e explosão.
- 7) **Sistema de Segurança:** Não é considerada na análise uma possível atuação espúria do sistema de segurança da hipotética plataforma.
- 8) **Recursos de Manutenção:** As equipes de manutenção são assumidas como sendo divididas da seguinte forma: 15 pessoas para manutenções gerais, 2 especialistas em manutenção de turbogeradores e 1 para manutenção de bombas, que estão disponíveis na plataforma 24h/dia e o tempo de mobilização varia de 1h até 2h;
- 9) **Sistema de Rejeito (*slop system*):** É assumido que a falha do sistema formado por duas bombas de *slop* (2x100%) e por um tanque tipo Caisson impede a operação da plataforma.
- 10) **Bombas Principais e Auxiliares:** A manutenção preventiva de cada uma das bombas é estimada como ocorrendo a cada 3,75 anos de operação, com duração média de aproximadamente 168 horas.
- 11) **Custos:** Os custos estão assim distribuídos:
 - CAPEX = 300 milhões de reais;
 - Custo do petróleo extraído = 20 dólares por barril (é estimada alteração deste valor para 21, 22 e 23 dólares após o 5º, 10º e 15º ano de simulação, respectivamente);
 - Custo de utilização da mão-de-obra de manutenção geral = 30 dólares por dia;
 - Custo de utilização da mão-de-obra específica para manutenção em turbogeradores e bombas = 40 dólares por dia com um adicional de 200 dólares por mobilização;
 - Taxa de retorno do capital investido = 10%.

4.2 DIAGRAMAÇÃO DE BLOCOS

A modelagem por simulação de rede requer a elaboração de um diagrama de blocos que possa representar a lógica de funcionamento dos sistemas em análise. Nesta abordagem, foram criados dois grandes sistemas: Utilidades e Bombas, conforme apresentado na Figura 1.

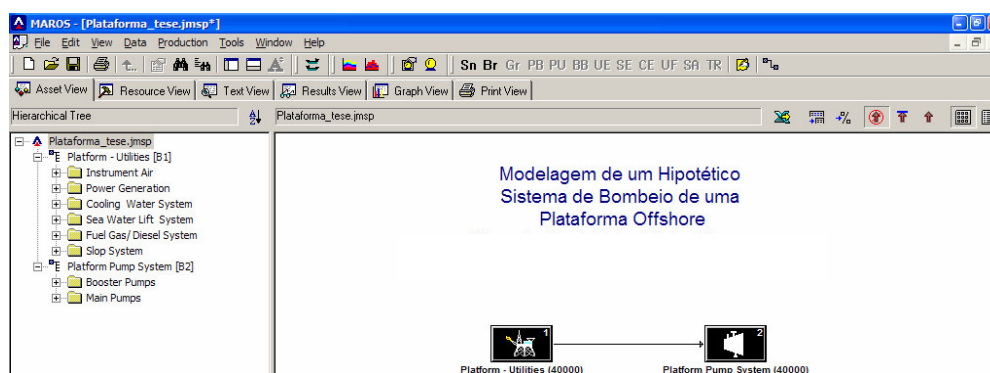


Figura 1 – Tela principal do programa MAROS

5 DADOS UTILIZADOS

Os dados de falha e reparo utilizados nesta análise foram em sua grande maioria retirados do banco de dados OREDA – *Offshore Reliability Data*. O OREDA banco de dados contém uma gama de dados de componentes e sistemas utilizados em instalações *offshore*, que são coletadas de instalações localizadas no Mar do Norte e no Mar Adriático. Atualmente encontra-se na sua 4ª. Edição.

6 RESULTADOS DA ANÁLISE DO PROJETO (CASO DE REFERÊNCIA)

Com os recursos de simulação disponíveis (software MAROS) é possível traduzir os índices de confiabilidade e eficiência produtiva de uma plataforma, em volume de produção e finalmente em valores monetários. Nesta modelagem considera-se o balanço de massa através de cada sistema (e os vários níveis de falha possíveis para cada configuração), bem como, uma curva de produção imaginária. São considerados vários intervalos de produção (0, 10, 20,..., 100% da capacidade nominal do sistema), conforme pode ser visto no histograma apresentado na Figura 2. Este projeto possui 10 estados operacionais, o que denota uma grande flexibilidade operacional.

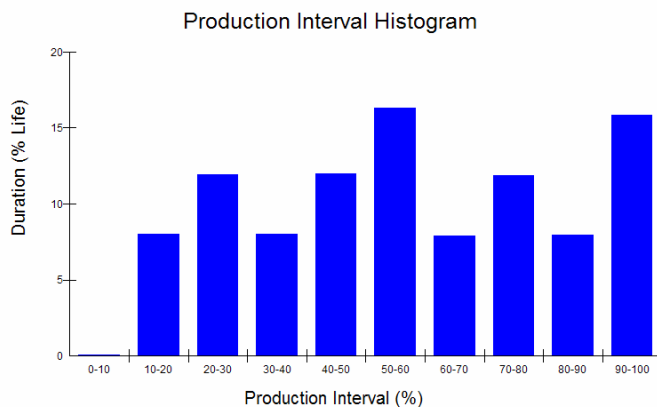


Figura 2 – Histograma dos Estados Operacionais por duração

A seguir, na Figura 3, pode-se observar a distribuição de probabilidade da eficiência produtiva. Percebe-se que esta distribuição aproxima-se de uma distribuição normal.

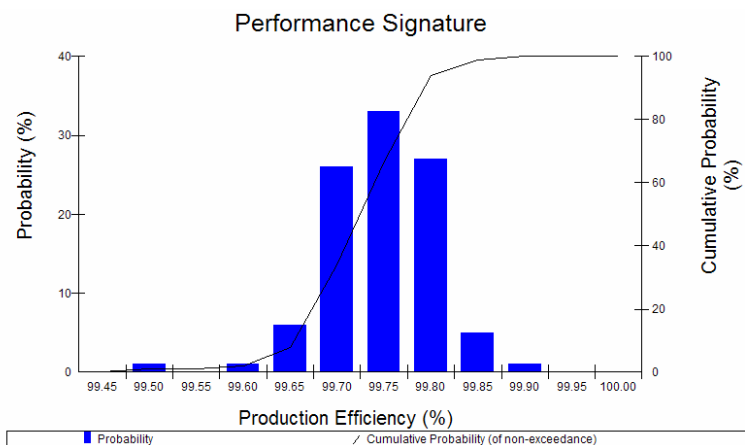


Figura 3 – Distribuição de Probabilidade da Eficiência Produtiva

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise de desempenho do projeto avaliado (caso de referência).

Tabela 3 – Resumo do desempenho do Caso de referência

| Indicador | Valor | Info. Adicional |
|--------------------------------------|---------------|------------------------|
| <i>Eficiência média</i> | 99.722 | % +/- 0.056 % |
| Disponibilidade de capacidade máxima | 7.954 | % +/- 0.031 % |
| Tempo total de paralisação | 0.105 | % +/- 0.030 % |
| Volume produzido real | 1.02E+09 | Sm ³ |
| Perda média anual | 1.14E+05 | Sm ³ |
| Número médio anual de paradas | 1.11E+00 | |
| Duração média das paradas | 8.27E+00 | Hrs |
| Duração máxima de parada | 1.82E+02 | Hrs |
| Duração mínima de parada | 1.25E-02 | Hrs |
| Perdas por serviço de reparo | 5.11 | hrs/anos/item |

Verifica-se que o projeto não atende ao requisito de disponibilidade de 99,83% estabelecido. O índice de disponibilidade é de a 99,722%.

Refletindo apenas no aspecto funcional do projeto, seria plausível imaginar que para aumentar a eficiência produtiva média ao nível desejado, bastariam esforços de melhorias junto aos principais subsistemas (bombas principais, auxiliares e geração de energia), pois estas se traduziriam em ganhos significativos para a eficiência produtiva. Entretanto, para tal conclusão, deve-se avaliar a importância/ criticidade de cada sistema, subsistema e componente do projeto, pois somente assim, através de uma análise criteriosa, é possível identificar quem são realmente os “elos” fracos do conjunto estudado. A seguir, na Tabela 4 estão mostrados os dados de criticidade de cada subsistema.

Tabela 4 – Dados de Criticidade de cada Subsistema

| Descrição do grupo | Perda Global Relativa % | Perda Local Relativa % | Média de perdas | Média de perdas absolutas% | TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (anos) |
|--|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------------------|--|
| <i>Sistema de água de resfriamento</i> | 37.0248 | 37.0251 | 114.23 | 0.1029 | 0.2189 |
| Geração de potência | 18.3621 | 18.3623 | 428.9 | 0.051 | 0.0583 |
| Sistema de elevação de água do mar | 17.5633 | 17.5634 | 99.92 | 0.0488 | 0.2502 |
| Ar de instrumento | 9.8401 | 9.8402 | 253.57 | 0.0273 | 0.0986 |
| Bombas Principais | 7.9612 | 7.9612 | 271.98 | 0.0221 | 0.0919 |
| Bombas de impulsão | 7.2443 | 7.2443 | 275.05 | 0.0201 | 0.0909 |
| Sistema de Rejeito | 2.0034 | 2.0034 | 88.97 | 0.0056 | 0.281 |
| Sistema de combustível gás/Diesel | 0 | 0 | 163.26 | 0 | 0.1531 |

A análise da criticidade de cada subsistema, sustentada pela Tabela 4, ressalta a importância do sistema de água de resfriamento. Através desta modelagem é possível perceber que este sistema é praticamente duas vezes mais crítico do que o subsistema de geração de energia e até 5 vezes mais crítico que os subsistemas das bombas principais e auxiliares, isto é, o sistema de água de resfriamento, sozinho, é responsável por aproximadamente 37% das perdas calculadas (perda absoluta 0,1029%). Na Tabela 5, é mostrado o detalhamento da avaliação de criticidade do subsistema de água de resfriamento.

Tabela 5 – Dados de Criticidade do Subsistema de Água de Resfriamento

| Descrição do grupo | Perda Global Relativa % | Perda Local Relativa % | Média de perdas | Média de perdas absolutas % | TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (anos) |
|--|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
| <i>Trocador de calor B</i> | <i>17.3556</i> | <i>46.8756</i> | <i>15.43</i> | <i>0.0482</i> | <i>1.6202</i> |
| <i>Trocador de calor A</i> | <i>16.9256</i> | <i>45.7143</i> | <i>15.08</i> | <i>0.047</i> | <i>1.6578</i> |
| Tanque de Expansão de Água de Resfrio B | 1.1721 | 3.1656 | 4.03 | 0.0033 | 6.2035 |
| Tanque de Expansão de Água de Resfrio A | 1.0599 | 2.8627 | 41.15 | 0.0029 | 0.6075 |
| Bomba de Circulação de Água de Resfrio C | 0.1626 | 0.4391 | 1.04 | 0.0005 | 24.0385 |
| Motor de Bomba de Água de Resfrio C | 0.147 | 0.3972 | 1 | 0.0004 | 25 |
| Manutenção de Bomba de Água de Resfrio 1 | 0.1395 | 0.3769 | 10 | 0.0004 | 2.5 |
| Manutenção de Bomba de Água de Resfrio 2 | 0.0156 | 0.0421 | 10 | 0 | 2.5 |
| Bomba de Circulação de Água de Resfrio A | 0.0152 | 0.0411 | 1.22 | 0 | 20.4918 |
| Motor de Bomba de Água de Resfrio B | 0.009 | 0.0242 | 2.11 | 0 | 11.8483 |
| Motor de Bomba de Água de Resfrio A | 0.0081 | 0.0218 | 2.02 | 0 | 12.3762 |
| Manutenção de Bomba de Água de Resfrio 3 | 0.0078 | 0.0211 | 9.93 | 0 | 2.5176 |
| Bomba de Circulação de Água de Resfrio B | 0.0068 | 0.0184 | 1.22 | 0 | 20.4918 |
| Totais | 37.0248 | 100 | 114.23 | 0.1029 | |

Uma análise detalhada da criticidade do subsistema de água de resfriamento evidencia a importância de cada um dos trocadores de calor. Cada trocador responde por aproximadamente 46% das perdas deste subsistema; um total em torno de 93%. Isto equivale dizer que os trocadores respondem por 93% das perdas provocadas pelo subsistema de água de resfriamento ao projeto do sistema de transferência; dado que este sistema é responsável por 37% das perdas totais, os trocadores sozinhos respondem por aproximadamente 34,5% das perdas totais.

A Figura 4 reafirma a importância dos trocadores de calor para o projeto, pois destaca a criticidade de cada categoria de equipamentos. Cabe ressaltar que as criticidades associadas a manutenções programadas de bombas e TGs são tratadas como categorias à parte, bem como a ocorrência de falhas simultâneas em dois TGs.

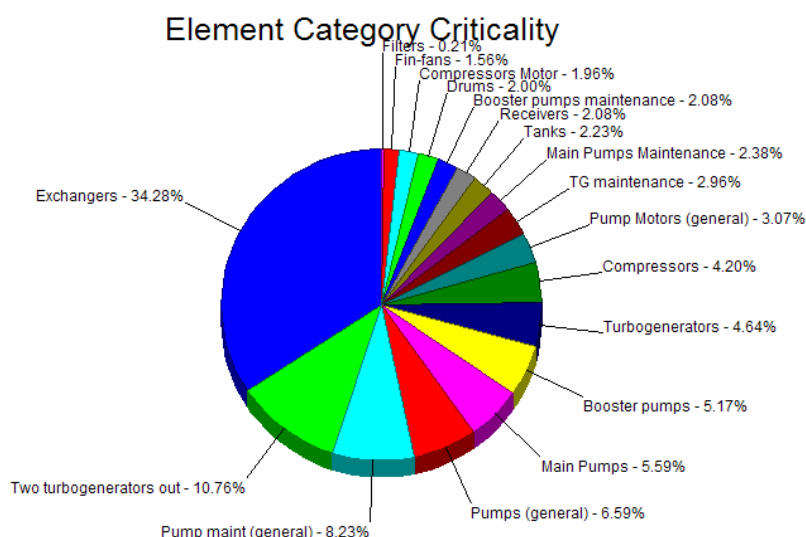


Figura 4 – Criticidade de cada Categoria de Equipamentos

A análise conjunta da Tabela 5 e da Figura 4 sugere, em princípio, uma reavaliação do projeto no que tange ao dimensionamento destes equipamentos (trocadores de calor).

Outro aspecto extremamente importante, e que pode ser um verdadeiro “gargalo” operacional para obtenção de valores mais atrativos de eficiência produtiva, é a logística de manutenção aplicada ao empreendimento. Muitos projetos possuem baixa eficiência produtiva devido à má administração dos recursos de manutenção.

As Figuras 5 e 6 ilustram como os recursos de manutenção relacionados à utilização da equipe da plataforma para reparos e serviços de manutenção gerais estão sendo aproveitados.

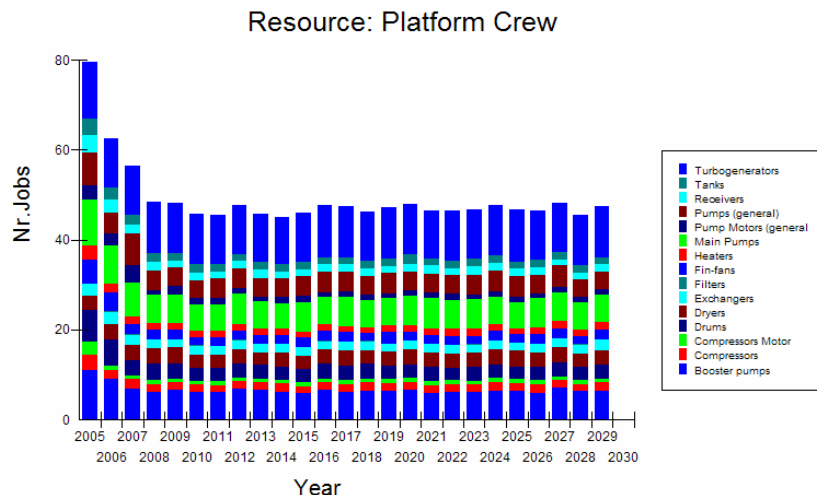


Figura 5 – Número de Atividades Realizadas pela Equipe de Manutenção Geral por Tipo de Equipamento/ Atividade

A Figura 5 destaca o número de serviços realizados pela equipe de manutenção geral por tipo de equipamento/ atividade. Nota-se que os TGs estão entre os que mais demandam por serviços desta equipe.

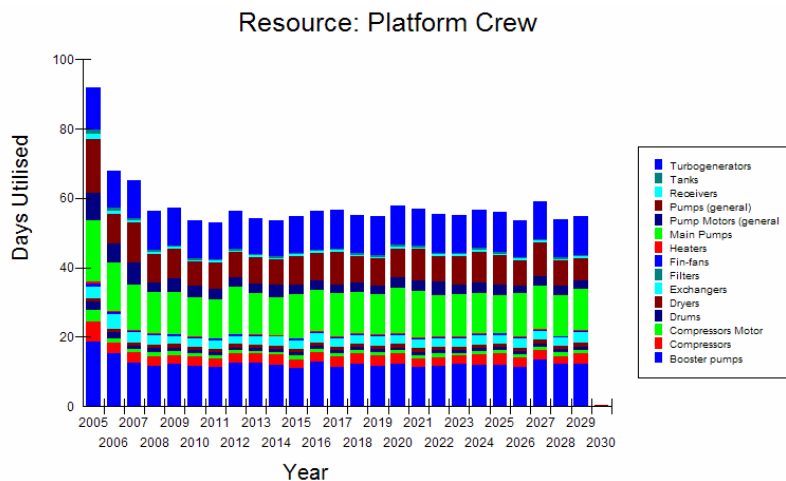


Figura 6 – Dias de Utilização da Equipe de Manutenção Geral por Tipo de Equipamento/ Atividade

Analisando a Figura 6, observa-se que, apesar de não estar nas mesmas proporções que o observado na figura anterior, o sistema de geração de energia aparece como um dos subsistemas que mais utilizam o serviço prestado por esta equipe. Em paralelo, as bombas principais e auxiliares também aparecem como fortes consumidores dos serviços prestados pela equipe de manutenção geral.

A Figura 7 apresenta o número de demandas da equipe responsável pela manutenção programada dos turbogeradores (TGs). Da mesma forma, a Figura 8 apresenta o número de demandas da equipe destinada a realizar manutenção programada de todas as bombas deste projeto.

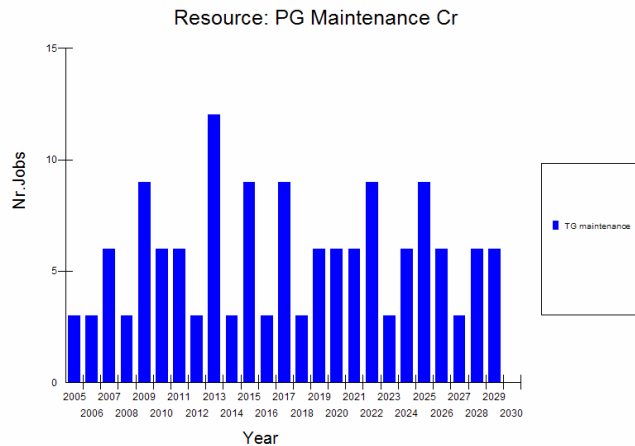


Figura 7 – Número de Atividades Realizadas pela Equipe de Manutenção Programada dos TGs

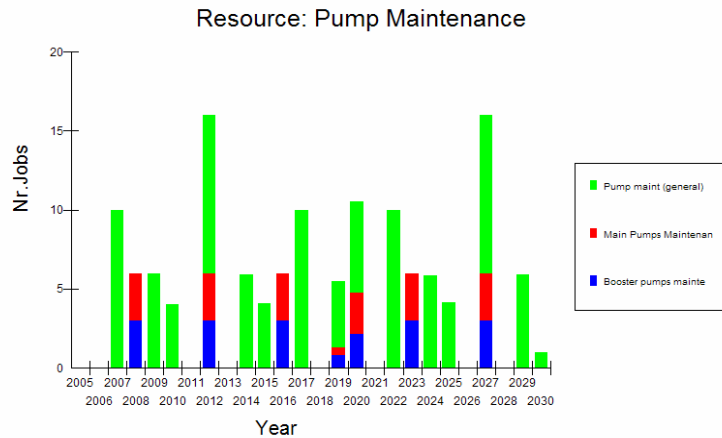


Figura 8 – Número de Atividades Realizadas pela Equipe de Manutenção Programada das Bombas

7 PROPOSIÇÕES DE MELHORIAS AO CASO DE REFERÊNCIA

O projeto de um sistema de transferência de petróleo deve atender ao requisito mínimo de disponibilidade que é de 99,83%. A Análise de RAM do projeto mostrou que a disponibilidade para a configuração atual está em torno de 99,722%, isto é, 0,108% abaixo do valor desejado. Pode parecer pequena a diferença em questão, mas cabe lembrar que este percentual pode representar 114.000m³ de cru por ano, ou seja, uma produção deferida média, ao longo de 25 anos, de aproximadamente 14,4 milhões de dólares por ano, considerando-se o preço do barril a 20 dólares. Portanto, dentro de um cenário que envolve 25 anos de produção estas cifras podem girar em torno de 350 milhões de dólares (sem considerar a taxa de desconto).

A análise realizada na seção anterior prontamente evidencia duas boas oportunidades de melhorias que podem fazer com que a disponibilidade desejada (99,83%) seja alcançada. São elas:

- ♣ Reavaliação do projeto dos trocadores de calor do sistema de água de resfriamento
- ♣ Reestruturação da equipe de manutenção dos turbogeradores

Caso as alterações sugeridas acima não sejam suficientes para a obtenção da disponibilidade desejada, duas outras medidas, em princípio, podem trazer ganhos de disponibilidade:

- ♣ Reestruturação da equipe de manutenção das bombas
- ♣ Reavaliação do projeto dos turbogeradores

Na próxima seção está apresentada a análise das proposições acima, que inclui a sugestão de alteração aventada, bem como, os efeitos destas alterações para a disponibilidade do sistema de transferência.

7.1 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS AO CASO DE REFERÊNCIA

♣ Reavaliação do projeto dos trocadores de calor do sistema de água de resfriamento

A reavaliação do projeto dos trocadores sugere uma alteração na qual o atual arranjo 2x50% seja trocado por um outro arranjo de 2x100%, isto é, este subsistema passa a ter redundância no que tange aos trocadores. A Tabela 6 apresenta o resumo da análise de desempenho do projeto após o re-projeto dos trocadores de calor do subsistema de água de resfriamento.

Tabela 6 – Resumo do desempenho após re-projeto dos trocadores

| Indicador | Valor | Info. Adicional |
|--------------------------------------|----------|-----------------|
| Eficiência média | 99.797 | % +/- 0.061 % |
| Disponibilidade de capacidade máxima | 7.980 | % +/- 0.021 % |
| Tempo total de paralisação | 0.125 | % +/- 0.028 % |
| Volume produzido real | 1.02E+09 | Sm ³ |
| Perda média anual | 8.32E+04 | Sm ³ |
| Número médio anual de paradas | 2.08E+06 | |
| Duração média das paradas | 1.28E+00 | Hrs |
| Duração máxima de parada | 8.56E+00 | Hrs |
| Duração mínima de parada | 1.07E+02 | Hrs |
| Perdas por serviço de reparo | 3.03E-02 | hrs/anos/item |

Nota-se que o projeto ainda não atende ao requisito de 99,83%. A eficiência produtiva média, entretanto, teve um acréscimo bastante significativo, saindo dos 99,722% para os 99,797%. A importância deste acréscimo se torna bem evidente quando se avalia o volume médio anual deferido de petróleo. Com a alteração no projeto dos trocadores, consegue-se aumentar a produção anual de petróleo em aproximadamente 30.800 m³ ou 193.726 barris. A antecipação de receita associada é da ordem de 4 milhões de dólares por ano.

Os dados de cada categoria de equipamentos após a alteração no projeto dos trocadores de calor do subsistema de água de resfriamento apresentam-se bem melhor distribuídos (ver Figura 9). Os turbogeradores, nesta nova configuração, passam a ser mais críticos para a eficiência produtiva do sistema de transferência do que os trocadores de calor do sistema de água de resfriamento. Faz-se necessário avaliar a alternativa que propõe uma reestruturação da equipe de manutenção dos TGs.

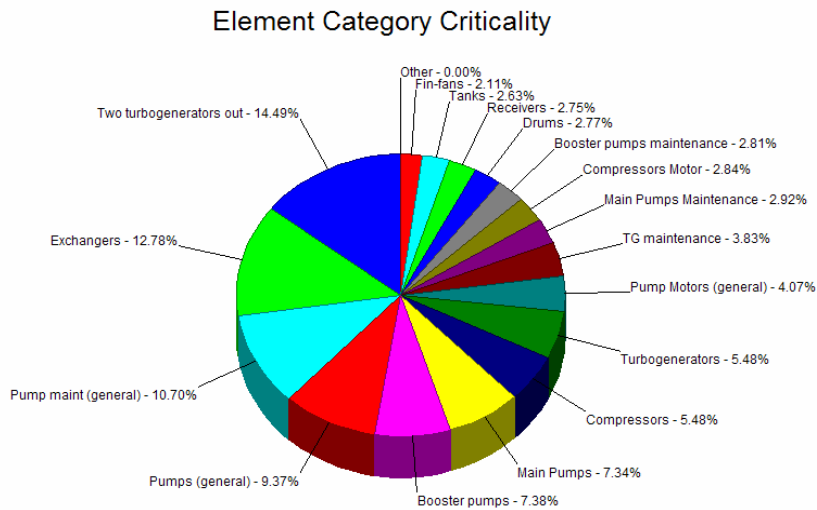


Figura 9 – Criticidade de cada Categoria de Equipamentos após Re-projeto dos Trocadores

♣ **Reestruturação da equipe de manutenção dos turbogeradores**

O valor de eficiência produtiva alcançado com re-projeto dos trocadores é de 99,797. Tendo em vista a necessidade de se alcançar um valor maior de eficiência produtiva e analisando o comportamento das equipes de manutenção (Figuras 10 a 11), é possível perceber certa ociosidade da equipe de especialistas em manutenção programada dos TGs e uma demanda excessiva da equipe de manutenção geral da plataforma. Adicionalmente, os próprios TGs estão entre os elementos que mais contribuem para a ocupação da equipe de manutenção geral da plataforma.

A reestruturação da equipe de manutenção dos turbogeradores é avaliada de modo a estabelecer uma dedicação exclusiva para todos os serviços de manutenção destes. Sendo assim, é definido que todos os serviços de manutenção em turbogeradores serão executados somente pela equipe de manutenção programada dos mesmos. Esta abordagem tende a diminuir a demanda da equipe de manutenção geral da plataforma, o que indiretamente implica em um ganho de disponibilidade desta equipe para serviços de manutenção de outros equipamentos, bem como torna mais efetiva a manutenção dos TGs. Os resultados desta abordagem estão apresentados a seguir.

A Tabela 7 apresenta o resumo da análise de desempenho do projeto após o re-projeto dos trocadores de calor do subsistema de água de resfriamento e a reestruturação da logística de manutenção dos TGs.

Tabela 7 – Resumo do desempenho após re-projeto dos trocadores e reestruturação da manutenção dos TGs

| Indicador | Valor | Info. Adicional |
|--------------------------------------|---------------|----------------------|
| Eficiência média | 99.821 | % +/- 0.048 % |
| Disponibilidade de capacidade máxima | 7.989 | % +/- 0.014 % |
| Tempo total de paralisação | 0.119 | % +/- 0.024 % |
| Volume produzido real | 1.02E+09 | Sm ³ |
| Perda média anual | 7.33E+04 | Sm ³ |
| Número médio anual de paradas | 1.26E+00 | |
| Duração média das paradas | 8.29E+00 | Hrs |
| Duração máxima de parada | 9.45E+01 | Hrs |
| Duração mínima de parada | 9.66E-03 | Hrs |
| Perdas por serviço de reparo | 5.13 | hrs/anos/item |

Mesmo com estas duas proposições de melhorias não foi possível atingir o requisito de eficiência produtiva de 99,83%, porém o objetivo está bem mais perto de ser alcançado. Faz-se necessário verificar os efeitos para o sistema de uma terceira medida de melhoria.

♣ **Reestruturação da equipe de manutenção das bombas**

A proposta de melhoria consiste em dobrar o número de membros da equipe de manutenção programada das bombas. A Tabela 8 apresenta o resumo da análise de desempenho do projeto após o re-projeto dos trocadores de calor do subsistema de água de resfriamento, a reestruturação da logística de manutenção dos TGs e das bombas.

Tabela 8 – Resumo do desempenho após re-projeto dos trocadores e reestruturação da manutenção dos TGs e das bombas

| Indicador | Valor | Info. Adicional |
|--------------------------------------|---------------|------------------------|
| Eficiência média | 99.842 | % +/- 0.047 % |
| Disponibilidade de capacidade máxima | 7.991 | % +/- 0.012 % |
| Tempo total de paralisação | 0.126 | % +/- 0.029 % |
| Volume produzido real | 1.02E+09 | Sm ³ |
| Perda média anual | 6.49E+04 | Sm ³ |
| Número médio anual de paradas | 1.28E+00 | |
| Duração média das paradas | 8.66E+00 | Hrs |
| Duração máxima de parada | 1.16E+02 | Hrs |
| Duração mínima de parada | 1.04E-02 | Hrs |
| Perdas por serviço de reparo | 1.84 | hrs/anos/item |

Por fim, aumentando-se o número de membros na equipe de manutenção das bombas a eficiência produtiva alcançada não apenas está de acordo com o requisito mínimo de 99,83%, como também o supera em 0,012%. Somente esta reestruturação é responsável por uma antecipação de receita da ordem de 8.400m³ (52.834bbl) de petróleo por ano, ou seja, 1,05 milhões de dólares ano (se considerado o preço do barril de petróleo a 20 dólares).

Cabe ressaltar que a análise das alternativas estudadas evidencia um ganho financeiro médio anual, apenas associado com a reestruturação das equipes de manutenção, da ordem de 2,3 milhões de dólares (com o barril do petróleo cotado a 20 dólares).

8 CONCLUSÕES

Nem sempre os “principais” componentes (aqueles de maior destaque) de um sistema são os responsáveis diretos por não se alcançar requisitos de confiabilidade estabelecidos. Todos os demais componentes que participam e assumem papéis não menos importantes dentro de um sistema devem ser assistidos da mesma forma que os componentes que exercem função de destaque dentro deste.

Devem-se analisar todos componentes com a mesma dedicação e atenção dispensada aos componentes mecânicos (bombas, trocadores, etc.). Somente assim, torna-se possível identificar oportunidades de melhorias na logística de manutenção, por exemplo.

A reestruturação de uma equipe de manutenção pode ser fundamental para a obtenção de melhores índices de atributos de confiabilidade, tal como a eficiência produtiva. O lucro cessante resultado de uma logística de manutenção não adequada, na grande maioria das vezes é muito superior ao custo de se aumentar o volume de mão-de-obra especializada.

A etapa ideal para aplicação de uma análise de RAM é a fase de projeto do sistema. Nesta etapa é possível aventar com mais flexibilidade uma gama de alterações, diferentemente do que é de supor quando se trata de instalações que já se encontram em operação, plenamente estabelecidas. Cabe ressaltar que é extremamente importante que antes de se iniciar uma análise de RAM seja definido um

requisito de eficiência produtiva desejável com base em uma análise do tipo ROI (*Return on Investment*).

Quanto melhor for a ferramenta computacional utilizada maior e melhores serão os recursos disponíveis, portanto, pode-se esperar uma simulação com maior adequação à realidade.

9 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, T. V. (2005), Metodologia de Análise de RAM (Reliability, Availability and Maintainability) por Simulação Baseada em Eventos Discretos Aplicada à Indústria Offshore como Suporte à Decisão Gerencial, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFF.

MAROS (2002) Maintainability, Availability, Reliability and Operability Simulation Program, Jardine Technology Limited, Glasgow.

OREDA - *Offshore Reliability Data Handbook, Industrial Management*, 4th. Ed. Oslo, 2005.