

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO EM PLATAFORMAS
OFFSHORE DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO**

Luiz Felipe Silva Moreira

2013



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO EM PLATAFORMAS OFFSHORE DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

Luiz Felipe Silva Moreira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Raad Yahya Qassim

Rio de Janeiro
Julho de 2013

OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO EM PLATAFORMAS OFFSHORE DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

Luiz Felipe Silva Moreira

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO NAVAL E OCEÂNICO.

Aprovada por:

Prof. Raad Yahya Qassim, Ph.D. (ORIENTADOR)

Prof. Luiz Antônio Vaz Pinto, D.Sc.

Prof. Ulisses A. Monteiro, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
JULHO DE 2013

Moreira, Luiz Felipe Silva

Otimização da Manutenção em Plataformas Offshore de Exploração e Produção de Petróleo/ Luiz Felipe Silva Moreira - Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, [2013]

VI, 41 p. 29,7 cm il.;

Orientador: Raad Yahya Qassim

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Engenharia Naval e Oceânica, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 29-30.

1. Tipos de Manutenção

2. Modelo de Programação Misto-inteira

3. Estudo de Caso do Modelo

I. QASSIM, RAAD YAHYA II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Curso de Engenharia Naval e Oceânica. III. Otimização da Manutenção em Plataformas Offshore de Exploração e Produção de Petróleo

Agradecimentos

A Deus por ter possibilitado tudo em minha vida.

Aos meus pais e minha irmã por todo o apoio em todos os momentos de dificuldade, pelo incentivo nos momentos de desânimo e por todo amor e carinho.

Em especial, tenho a honra de dedicar este projeto a Esmeralda Silva Moreira (in memoriam), a minha querida mãe, que a cada dia que passa permanece mais viva em meu coração.

À minha namorada, por todo o apoio e compreensão em todos os momentos.

Aos meus amigos por todo apoio, consideração, compreensão e momentos de descontração.

Ao professor Raad Yahya Qassim pela excelente orientação, disponibilidade e compreensão.

Resumo do Projeto Final apresentado ao Departamento de Engenharia Naval e Oceânica – Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Diploma de Engenheiro Naval.

OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO EM PLATAFORMAS OFFSHORE DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

Luiz Felipe Silva Moreira

Julho/2013

Orientador: Raad Yahya Qassim

Programa: Engenharia Naval e Oceânica

Atualmente, com o aumento dos investimentos na indústria petrolífera, os serviços de manutenção e reparo das plataformas de exploração e produção de petróleo se tornaram peças fundamentais para manter a produção das mesmas em níveis satisfatórios. Pois uma diminuição na produção de uma plataforma acarreta grandes prejuízos para as empresas responsáveis pelas plataformas.

Uma maneira de realizar esses serviços de maneira eficiente é delinear um bom planejamento para que todas as plataformas sejam atendidas dentro dos prazos estipulados para que elas sempre possuam um nível de produção dentro da faixa satisfatória. Este trabalho tem como objetivo obter uma avaliação do atendimento de vários tipos de serviços de manutenção em plataformas offshore de exploração e produção de petróleo usando dados representativos oriundos da realidade industrial. Esta avaliação será feita através do uso de um modelo de programação de serviços de manutenção baseado em programação mista-inteira e implementação computacional no software comercial de otimização LINGO®.

Palavras-chaves: LINGO®, Programação Mista-Inteira, Indústria Petrolífera.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

OPTIMIZATION OF MAINTENANCE IN OFFSHORE OIL EXPLORATION AND PRODUCTION PLATFORMS

Luiz Felipe Silva Moreira

July/2013

Advisor: Raad Yahya Qassim.

Department: Naval and Ocean Engineering

Nowadays, with the increase in investments in the oil industry, the maintenance and repair of the oil exploration and production platforms have become cornerstones to maintain the production at satisfactory levels. Since a decrease in the production of a platform brings great harm to the companies responsible for the platforms.

One way to perform these services efficiently is a good outline planning so that all platforms are met within the stipulated deadlines so they always have a level of production within the range satisfying. This paper aims to obtain an assessment of compliance of various types of maintenance services for offshore exploration and production of oil using representative data from the industrial reality. This assessment will be done through the use of a programming model of maintenance services based on mixed-integer programming and computational implementation in commercial optimization software LINGO®.

Key-words: LINGO®, Mixed-integer Programming, Oil Industry.

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Contexto Atual	2
3	Objetivo	4
4	Apresentação do Problema	4
4.1	Manutenção Preditiva	6
4.1.1	Vantagens:	7
4.1.2	Desvantagens:.....	8
4.2	Manutenção Preventiva	8
4.2.1	Vantagens:	9
4.2.2	Desvantagens:.....	9
4.3	Manutenção Corretiva	10
4.3.1	Vantagens:	10
4.3.2	Desvantagens:.....	11
4.4	Análise de Riscos de Falhas.....	11
5	Metodologia da Pesquisa.....	13
5.1	Apresentação do Modelo	13
5.2	Espaço Requerido nas Plataformas.....	15
6	Estudo de Caso do Modelo.....	19
7	Resultados.....	26
7.1	Análise dos resultados.....	27
8	Conclusões.....	28
9	Referências	29
10	ANEXOS	31
	Anexo A – Resultados.....	31

1 Introdução

As primeiras plataformas offshore foram instaladas em 1947 no Golfo do México. As instalações vêm crescendo juntamente com a demanda de petróleo e, apesar da crise do petróleo, entre as décadas de 60 e 70, esse crescimento não parou, pelo contrário, aumentou não só as instalações de plataformas como também as técnicas utilizadas na extração de petróleo, não só de forma quantitativa como qualitativa.

De forma geral, as plataformas offshore são responsáveis pela perfuração de poços, extração e processamento do petróleo. Além de servirem para abrigar materiais e máquinas necessárias, nessas estruturas ficam os alojamentos, áreas comuns e o refeitório dos trabalhadores.

Algumas estruturas foram feitas apenas para pesquisa e perfuração de um possível poço. Quando um poço é descoberto e perfurado, entram em ação as plataformas de produção. As plataformas podem ser classificadas da seguinte forma: função e permanência. Considerando a função da plataforma temos perfuração, produção ou mista. Por outro lado se considerarmos a permanência, teremos as fixas ou provisórias.

Neste relatório será analisada a problemática de alocar espaços em plataformas para que os serviços de manutenção de curto e longo prazo, e as tarefas de emergência que eventualmente podem ocorrer nas mesmas. Somente serão analisadas as plataformas de produção, pois elas são as que possuem efetivamente estes tipos de problemas. Essas plataformas são projetadas para durar décadas e gerar cada vez mais lucros através de sua alta produção ao longo do seu funcionamento. Logo o grande desafio para os administradores de uma plataforma de produção é fazer com que ela tenha um planejamento de manutenção constante que possibilite a plataforma trabalhar no limite de sua capacidade ao longo de praticamente toda sua vida útil.

2 Contexto Atual

Ao longo das últimas décadas, a indústria naval obteve um grande crescimento em todo o mundo. De acordo com GONTIJO FILHO [1], no segmento de plataformas, no que tange à demanda, a elevação dos preços de petróleo ao longo da década, além de elevar as encomendas de petroleiros, acarretou em grande evolução nas aquisições de estruturas e equipamentos para produção offshore. Além disso, a grande busca por reservas de hidrocarbonetos levou as empresas petrolíferas a buscar fontes não convencionais de petróleo, especialmente reservatórios em águas profundas. Esta evolução levou importante crescimento do uso de plataformas offshore em todo o mundo.

As descobertas recentes na camada pré-sal da costa brasileira ampliam o interesse pela indústria naval offshore no Brasil. O potencial das descobertas, em termos de volumes de encomendas e de possíveis impactos tecnológicos é considerado bastante expressivo. A Petrobrás e outras empresas nacionais têm anunciado projetos de encomendas e investimentos com potencial para transformar o país em um dos maiores mercados de estruturas de produção offshore.

Essas estruturas de produção offshore são projetadas sempre de forma que as plataformas existentes tenham que trabalhar no limite de sua capacidade para buscar a lucratividade para todas as esferas envolvidas. De acordo com a publicação de ORDÓÑEZ e ROSA [2], a busca pela produção no limite máximo de suas capacidades, as plataformas da Petrobras operaram a pleno vapor, sem a devida manutenção, até 2011, quando começaram a apresentar problemas. Algumas chegaram a ser interditadas pela Agência nacional de Petróleo (ANP), ocasionando uma queda na produção de petróleo. De janeiro a novembro de 2012, a estatal registrou recuo de 2,3% na extração diária de óleo em relação ao mesmo período de 2011. Após as interdições da ANP, a empresa foi obrigada a realizar paradas para manutenção por longos períodos, levando a uma queda na produção. A produtividade das unidades na Bacia de Campos caiu cerca de 90% para 70%. Com isso, em julho de 2012, foi criado pela estatal um programa de US\$6,3 bilhões, chamado de Proef, para recuperar a eficiência operacional.

O desenvolvimento de um projeto de sistema de produção offshore, envolve um corpo multidisciplinar e é dividido em fases, cada qual com um nível de maturidade requerida para o projeto. Por ser extremamente complexo, possui uma série de procedimentos a serem seguidos durante sua evolução.

Entre essas fases há a chamada “Operação e Manutenção”, onde o Campo é entregue para a produção. A operação são todas as atividades necessárias à viabilização do fluxo dos fluidos, tratamento e exportação dos mesmos. A manutenção caminha junto, visto que tem como finalidade permitir a continuidade da produção, ou retorno a esta em casos onde tenha sido interrompida.

Em função do sistema escolhido, a operação e manutenção podem ser sensivelmente afetadas, tanto no que diz respeito ao custo e dificuldade para manter a produção como nos riscos de danos ou acidentes que podem trazer prejuízos à saúde dos trabalhadores, ao meio ambiente ou financeiros, sendo que estes últimos podem dever-se ao reparo e/ou à perda de produção, devida à indisponibilidade de algum componente do sistema.

O atual cenário dos serviços de manutenção às plataformas brasileiras pode ser exemplificado pelo conteúdo de uma nota da revista virtual “Portos e Navios” [3], divulgada em 8 de fevereiro de 2013. Onde é dito que empresas foram contratadas para fazer a manutenção de 21 plataformas da Petrobras na Bacia de Campos. As empresas vão prestar os serviços ao longo de três anos utilizando um modelo de manutenção em crescimento na indústria mundial do petróleo, o uso de navios-dormitório, com capacidade de acomodar até 300 pessoas, que ficam conectados por meses às plataformas de produção que vão passar pela reforma.

Nesta nota é dito também que de acordo com a Petrobrás os objetivos principais das campanhas de manutenção são a melhoria na eficiência operacional das plataformas e a manutenção das operações nos níveis de segurança para os quais as unidades foram projetadas, dentro dos parâmetros mundiais de mercado. A empresa também declarou que as plataformas de produção da Bacia de Campos possuem tempos de operação variados e nesse contexto, a utilização de UMS, juntamente com as melhorias na eficiência e segurança operacionais, contribui para aumentar a vida útil dessas unidades, estendendo-a além do período inicialmente projetado, a exemplo do que acontece mundialmente.

Ainda é dito na nota que o grande número de paradas programadas para manutenção em plataformas, no primeiro semestre, terá efeitos sobre a produção da Petrobras, como previu esta semana a presidente da estatal, Graça Foster. Ela afirmou que em 2013, devido às paradas programadas, será possível à companhia alcançar uma produção de óleo no mesmo patamar de 2012. Segundo Graça, as novas plataformas que entrarão em produção este ano contribuirão para o crescimento da produção a partir do segundo semestre de 2013. A produção nacional de petróleo e líquido de gás natural (LGN) da Petrobras em 2012 foi 2% inferior ao ano anterior.

As paradas de produção das plataformas da Petrobras que precisavam de manutenção e a contratação de serviços de manutenção eficientes que foram mostrados anteriormente comprovam a importância destes serviços no cenário atual da indústria offshore brasileira, o que reforça a necessidade de aprimoramento e otimização destes serviços.

3 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo obter uma avaliação do atendimento de vários tipos de serviços de manutenção em plataformas offshore de exploração e produção de petróleo usando dados representativos oriundos da realidade industrial. Esta avaliação será feita através do uso de um modelo de programação de serviços de manutenção baseado em programação mista-inteira e implementação computacional no software comercial de otimização LINGO®.

O trabalho será dividido em quatro etapas, a primeira consiste na apresentação do problema para o qual se busca uma solução com a implementação computacional que será desenvolvida. A segunda etapa consiste na apresentação do modelo matemático desenvolvido, que será utilizado no software comercial de otimização LINGO®, com todas as suas notações, restrições e sua função objetivo. A terceira etapa consiste no estudo de caso do modelo apresentado usando dados oriundos da realidade de cinco plataformas existentes. A quarta etapa é a análise dos resultados gerados pelo software em relação ao problema apresentado, concluindo se o projeto contribuiu positivamente no atendimento de vários tipos de serviços de manutenção em plataformas offshore de exploração e produção de petróleo e como este modelo poderia ser aprimorado.

4 Apresentação do Problema

Uma plataforma offshore pode ser comparada a uma pequena cidade em uma ilha remota. Cada centímetro quadrado disponível deve ser utilizado da forma mais eficiente possível para reduzir custos e proporcionar as melhores condições para os colaboradores. Uma maneira de obter essa eficiência é garantir a utilização de serviços de manutenção e reparo constantes nas plataformas.

O problema proposto neste relatório será a manutenção na indústria offshore, que pode ser definida como algo que envolve execução e coordenação das atividades necessárias para garantirmos que todos os sistemas componentes do navio ou plataforma continuem a operar em perfeito estado durante sua vida útil, como foi citado por Abdalla [4]. Além disso ele disse que simplificando, manutenção é todo o conjunto de ações de controle e monitoramento dos equipamentos e que a manutenção não aumenta a confiabilidade, apenas leva o equipamento a operar sempre próximo às condições originais de entrega.

A manutenção tem sempre como principal objetivo evitar ou diminuir as conseqüências da falha de um determinado equipamento, e para que isso ocorra uma possível falha deve ser prevenida antes que ela realmente ocorra através das manutenções preventivas e preditivas. A manutenção é projetada para preservar e restaurar a confiabilidade do equipamento substituindo componentes desgastados antes que eles realmente falhem.

Na literatura e prática, encontramos três abordagens específicas para o tratamento da manutenção de equipamentos, relacionados em três classes de atividades, de acordo com o contexto ou natureza da intervenção e sua programação – assim como sua importância dentro da elaboração de uma política de segurança:

- Manutenção Preventiva (Preventive Maintenance)
- Manutenção Preditiva (Predictive Maintenance)
- Manutenção Corretiva (Corrective Maintenance)

Os dois primeiros tipos, a preventiva e a preditiva, devem estar sempre presentes em um planejamento de manutenção de uma plataforma ou navio, já a manutenção corretiva deve ser levada em conta como um serviço que sempre terá a prioridade em relação aos demais tipos de manutenção, pois ela é utilizada em situações onde já ocorreram as falhas e se não for feita a manutenção serão gerados diversos prejuízos no funcionamento do equipamento. Logo, este tipo de manutenção não é capaz de ser incluída como algo programado e também é inevitável no longo prazo, pois ela ocorre devido a fatores imprevisíveis, como um erro humano ou a exposição dos equipamentos às intempéries e condições adversas de operação.

4.1 Manutenção Preditiva

Manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se da manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado.

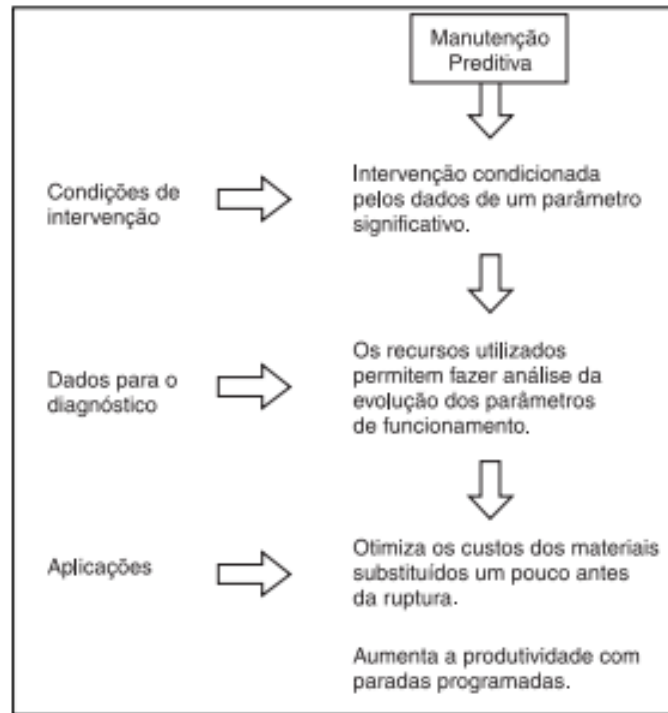
A manutenção preditiva se baseia na análise da evolução supervisionada de parâmetros significantes da deterioração do componente ou equipamento, permitindo alongar e planejar intervenções. Dentro do conceito de manutenção preditiva, não se encontra um programa completo de manutenção, mas esta modalidade adiciona uma valiosa colaboração que é imprescindível em qualquer programa de gestão de manutenção, visto que a proposta da manutenção preditiva é fazer o monitoramento regular das condições mecânicas e elétricas dos equipamentos e instalações e, ainda, monitorar o rendimento operacional de equipamentos e instalações quanto a seus processos. Como resultado desse monitoramento, tem-se a maximização dos intervalos entre reparos por quebras (manutenção corretiva) e reparos programados (manutenção preventiva), bem como maximização de rendimento no processo produtivo, visto que equipamentos e instalações estarão disponíveis o maior tempo possível para operação.

Para ser executada, a manutenção preditiva exige a utilização de aparelhos adequados, capazes de registrar vários fenômenos, tais como:

- vibrações das máquinas;
- pressão;
- temperatura;
- desempenho;
- aceleração.

Com base no conhecimento e análise dos fenômenos, torna-se possível indicar, com antecedência, eventuais defeitos ou falhas nas máquinas e equipamentos. A manutenção preditiva, geralmente, adota vários métodos de investigação para poder intervir nas máquinas e equipamentos. Entre os vários métodos destacam-se os seguintes: estudo das vibrações; análise dos óleos; análise do estado das superfícies e análises estruturais de peças.

A figura a seguir ilustra como funciona o processo deste tipo de manutenção.



FONTE: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Figura 1 – Esquema da manutenção preditiva.

A manutenção preditiva oferece algumas vantagens e desvantagens como citado por Baptista [5].

4.1.1 Vantagens:

A manutenção preditiva fornece sofisticadas ferramentas para o operador monitorar seu equipamento e procedimentos de manutenção. Seus dados são continuamente analisados apresentando:

- . Uma estimativa da condição da máquina em funcionamento;
- . Uma estimativa da confiabilidade do equipamento.

Além disso, fornece um meio de gerenciar continuamente e melhorar o processo, incluindo tarefas como:

- . Estabelecer limites de avaliação da mediação confiáveis;
- . Estabelecer limites confiáveis para o uso dos componentes;
- . Estabelecer indicadores de falha confiáveis;
- . Formar e manter uma biblioteca de relações causa-efeito;
- . Avaliar os procedimentos de manutenção e solução dos problemas.

Quando efetivo, um programa de manutenção preditiva traz os seguintes benefícios:

- . Aumento da disponibilidade do equipamento;
- . Extensão dos intervalos periódicos da manutenção preventiva;
- . Redução na retirada de componentes falsos (quando não se conhece a origem da falha os componentes vão sendo substituídos até sanar o problema).
- . Redução no número de horas de execução de manutenção;
- . Redução na requisição de peças sobressalentes.

4.1.2 Desvantagens:

Um sistema de manutenção baseada na condição requer a implementação de um sistema de monitoração para avaliar continuamente a condição do equipamento. O custo do sistema de monitoração é adicionado ao custo da manutenção do equipamento.

4.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva obedece a um padrão previamente esquematizado, que estabelece paradas periódicas com a finalidade de permitir a troca de peças gastas por novas, de maneira a reduzir ou evitar a falha ou a queda no desempenho do equipamento e assegurando assim o seu funcionamento perfeito por um período predeterminado.

O método preventivo proporciona um determinado ritmo de trabalho, assegurando o equilíbrio necessário ao bom andamento das atividades. A manutenção preventiva é considerada como o ponto de apoio das atividades de manutenção, envolvendo tarefas sistemáticas tais como: as inspeções, substituição de peças e reformas.

Os objetivos deste tipo de manutenção são:

- . Redução de custos
- . Qualidade do produto
- . Aumento de produção
- . Preservação do meio ambiente

- . Aumento da vida útil dos equipamentos
- . Redução de acidentes do trabalho.

Os programas mais constantes da manutenção preventiva são: reparos, lubrificação, ajustes, recondiçõamentos de máquinas, etc. Os métodos comuns para se determinar quando uma política de controle de falhas deve ser aplicada incluem: especificações do fabricante, regras de sociedades normativas e legislação aplicável, opinião de especialistas ou o tipo de manutenção que já é aplicado em equipamento similar. O que falta na manutenção preventiva é um método para determinar quando a condição do componente está para afetar o planejamento da manutenção.

A manutenção preventiva oferece algumas vantagens e desvantagens como citado por Baptista [5].

4.2.1 Vantagens:

- . Aumento da disponibilidade do equipamento;
- . Aumento da segurança operacional;
- . Redução de paradas imprevistas;
- . Melhor distribuição das tarefas da manutenção, facilitando o seu gerenciamento.

4.2.2 Desvantagens:

Um programa de manutenção baseado puramente no tempo pode ser prejudicado pelos seguintes problemas:

- . As paradas imprevistas não são completamente eliminadas;
- . Recursos suficientes devem ser mantidos a disposição para qualquer eventualidade;
- . Muitos programas de manutenção preventiva não incluem um acompanhamento da configuração do equipamento o que pode levar a uma substituição prematura de componentes quase novos;
- . Muitos programas de manutenção preventiva não incluem um acompanhamento do uso do equipamento, o que pode resultar numa alta possibilidade de que algumas partes substituídas estejam menos resgatadas do que esperado;
- . Muitos programas não incluem um acompanhamento da vida dos componentes. Este procedimento poderia qualificar e tornar disponíveis componentes usados com uma fração da vida útil ainda restante para uso futuro em manutenções imprevistas.

4.3 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma “pane”, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Resumindo, é toda manutenção com a intenção de corrigir falhas em equipamentos, componentes, módulos ou sistemas, visando restabelecer sua função.

Este tipo de manutenção, normalmente implica em custos altos, pois a falha inesperada pode acarretar perdas de produção e queda de qualidade do produto. Não existe plano para esse tipo de manutenção e as paralisações são quase sempre mais demoradas e a insegurança exige estoques elevados de peças de reposição, com acréscimos nos custos de manutenção.

Quando a manutenção corretiva é realizada, o equipamento deve ser inspecionado para identificar o motivo da falha e permitir a ação a ser tomada para eliminar ou reduzir a frequência de futuras falhas semelhantes. Estas inspeções devem ser incluídas no planejamento de trabalho de manutenção, por equipes especializadas e supervisionadas pela gestão de manutenção.

Esse tipo de manutenção tem como objetivo diminuição do tempo ocioso das máquinas seja por falhas na operação, por falta de peças, avarias ou substituição de ferramentas.

Observa-se que qualquer intervenção que não conste do Plano de Manutenção da estrutura flutuante pode ser classificada como uma Manutenção Corretiva, mas não necessariamente a mesma envolve reparos em equipamentos. Por vezes, ajustes operacionais ou o adiantamento da próxima manutenção preventiva prevista no plano podem constituir uma intervenção dita corretiva. Caso um reparo seja inevitável, é responsabilidade da empresa que forneceu o equipamento garantir que o mesmo seja feito quando o problema ainda não se configurou em uma perda significativa de capacidades/segurança da embarcação ou plataforma.

A manutenção corretiva oferece algumas vantagens e desvantagens como citado por Baptista [5].

4.3.1 Vantagens:

Este tipo de manutenção pode ser considerado o tipo de manutenção de custo mais baixo. No que diz respeito ao trabalho e partes substituídas, porque os recursos são desembolsados somente quando o problema ocorre; porém, em termos do custo total da operação do equipamento, um programa de manutenção puramente corretivo é normalmente mais caro.

4.3.2 Desvantagens:

A reparação de falhas após a quebra é inaceitável para a maioria dos equipamentos utilizados na construção, comércio, fabricação, geração de energia elétrica, óleo, gás e transportes. Os processos mecânicos existentes nestas indústrias são caros e envolvem níveis de segurança elevados, para que possam falhar sem uma parada ordenada. Além disto, o custo da produção seria muito elevado, caso a manutenção fosse executada de forma unicamente corretiva.

4.4 Análise de Riscos de Falhas

Quando é analisado um planejamento de manutenção em qualquer indústria, como a indústria offshore, deve-se sempre levar em consideração tanto a ocorrência de falhas inesperadas dos equipamentos que passam por manutenção quanto às falhas no próprio planejamento da manutenção, sendo que uma falha no planejamento de manutenção em algum equipamento conseqüentemente pode gerar uma falha no mesmo.

As falhas de equipamentos podem ter origem devido a diversos fatores, como os citados por Seixas [6], que são: erros de projeto, programas de manutenção inadequados, postergação da manutenção, treinamento inadequado dos operadores, pressão do cliente, pressão da concorrência, especificação dos componentes, erro de instalação e/ou montagem, estado da arte, etc.

As possíveis perdas, oriundas das falhas, podem ser negligentes ou catastróficas (acidentes e desastres). A manutenção tem uma grande responsabilidade no que se refere a evitar que ocorram falhas nos equipamentos, principalmente aquelas que envolvem a segurança dos sistemas.

Logo é necessário que seja feita uma análise de risco para que nenhuma grande adversidade ocorra em algum planejamento de manutenção de alguma plataforma de forma que gere grandes catástrofes.

Um conceito bastante importante, quando se trata de análise de riscos e confiabilidade em relação às falhas é a disponibilidade (ou funcionalidade) de um sistema. O conceito de MTBF (Mean Time Between Failure), que também pode ser traduzido como “Tempo Médio de Bom Funcionamento” dá uma idéia do rendimento operacional ou qual a porcentagem de tempo que o sistema está operando e, portanto, produzindo.

Esta é uma informação que muitas vezes não provêm de um banco de dados e sim de valores padrão, que correspondem mais a um desejo do que a uma realidade. Têm-se que no início da operação de qualquer sistema existe uma curva de aprendizado (também pode ser considerado durante a implementação do projeto), onde nos primeiros meses ou mesmo no primeiro ano, a eficiência operacional é menor, devido ao número de falhas caracteristicamente maior nesta fase.

Nos períodos seguintes, com a devida manutenção preventiva, a taxa de falhas mantém-se em um patamar bastante baixo, quase sem variações. Com o passar do tempo, esta taxa tende a subir indicando que os equipamentos estão “envelhecendo”, apesar dos gastos crescentes com os equipamentos. Logo se deve usar um fator operacional para o primeiro ano de 85% (fora as paradas programadas de produção). Para os demais anos, considerando um projeto curto (de até 10 anos de operação), este valor passa para 95%.

Isto pode ser uma boa estimativa para o cálculo do que se espera de VPL (Valor presente líquido) de um projeto já definido, mas não reflete a realidade quando se estão comparando duas diferentes alternativas, cada uma com suas peculiaridades. Com este nivelamento “forçado”, pode-se estar penalizando uma opção em relação à outra, o que pode induzir a uma tomada de decisão errada.

A disponibilidade e desempenho dos equipamentos devem ser mantidos a um custo compatível com os objetivos da empresa. Isto só é obtido se for desenvolvida uma mentalidade, dentro da área de manutenção, que não basta apenas corrigir um evento “falha”, mas também analisar as possíveis causas que deram origem a este evento. Pois as pequenas falhas de hoje, podem trazer grandes problemas amanhã, se não forem eliminadas ou seu efeito minimizado.

Entretanto, não há garantia de que as previsões de manutenção serão atendidas, pois como há envolvimento humano com as máquinas nos diversos fatores que podem causar falhas citados, deve ser considerado que nem sempre os serviços desempenhados pelos responsáveis pelas máquinas serão perfeitamente executados. Logo é necessário considerar sempre as incertezas destes fatores através de métodos de análises de probabilidade quando se estuda modelos para o atendimento dos serviços de manutenção de qualquer equipamento ou estrutura, como o modelo de otimização para o atendimento dos serviços de manutenção de plataformas que será mostrado posteriormente neste relatório.

5 Metodologia da Pesquisa

5.1 Apresentação do Modelo

O modelo foi desenvolvido com o objetivo de ser capaz de representar uma otimização simultânea de projetos de engenharia (longo prazo), serviços de manutenção (médio prazo) e tarefas de emergência (curto prazo) em plataformas offshore. Antes da declaração modelo, é necessário que a notação seja introduzida.

Notação

m – índice que representa as tarefas de emergência; $m=1, \dots, M$

p – índice que representa os projetos de engenharia; $p=1, \dots, P$

q – índice que representa os serviços de manutenção; $q=1, \dots, Q$

t – índice que representa o período de tempo; $t=1, \dots, T$

s – índice que representa as Plataformas Offshore

A_{pt} – Fração de conclusão do projeto p no período de tempo t

AD_{pt} – Fração de conclusão desejada do projeto p no período de tempo t

B_{qt} – Fração de conclusão do serviço q no período de tempo t

BD_{qt} – Fração de conclusão desejada do serviço q no período de tempo t

C_{pt} – Quantidade de espaço alocado para o projeto p no período de tempo t

CD_{pt} – Quantidade desejada de espaço alocado para o projeto p no período de tempo t

D_{qt} – Quantidade de espaço alocado para o serviço q no período de tempo t

DD_{qt} – Quantidade desejada de espaço alocado para o serviço q no período de tempo t

E_{pt} – Peso de prioridade do projeto p no período de tempo t

F_{qt} – Peso de prioridade do serviço q no período de tempo t

H – Parâmetro da fração completada

K – Parâmetro de quantidade de espaço

TOT_t – Quantidade total de espaço disponível no período de tempo t

R_{st} – Quantidade de espaço requerido para tarefas de emergência na plataforma s no período de tempo t

R_{mt} – Quantidade de espaço alocado para tarefa de emergência m no período de tempo t

Modelo

A expressão a ser maximizada neste modelo é:

$$\sum_t \sum_p ((A_{pt} / AD_{pt}) * (C_{pt} / CD_{pt}) * E_{pt}) + \sum_t \sum_q ((B_{qt} / BD_{qt}) * (D_{qt} / DD_{qt}) * F_{qt}), \quad (1)$$

A função objetivo (1) a ser maximizada representa a fração de conclusão total normalizada e quantidade de espaço alocado de todos os projetos e serviços no horizonte do tempo planejado. Nesta expressão somam-se os somatórios referentes aos projetos de engenharia (p) com os referentes aos serviços de manutenção (q). Cada somatório é feito entre os valores de cada projeto ou serviço em todos os períodos de tempo estudados. Estes valores são resultados da multiplicação entre os valores de quanto da fração de conclusão desejada foi efetivamente concluída de cada projeto ou serviço, de quanto do espaço desejado foi efetivamente utilizado para cada projeto ou serviço e o fator de prioridade para cada projeto ou serviço.

As restrições impostas no modelo são:

$$\cdot C_{pt} / CD_{pt} \geq C_{p+1,t} / CD_{p+1,t}, \quad p=1, \dots, P; t=T_0, \dots, T, \quad (2)$$

$$\cdot D_{qt} / DD_{qt} \geq D_{q+1,t} / DD_{q+1,t}, \quad q=1, \dots, Q; t=T_0, \dots, T, \quad (3)$$

As restrições (2) e (3) garantem que para cada projeto e cada serviço, respectivamente, a fração de conclusão normalizada é uma função não-crescente de tempo. A motivação para esses dois conjuntos de restrições é o desejo de concluir os projetos e serviços o mais cedo possível.

$$\cdot A_{pt} \leq H * AD_{pt}, \quad p=1, \dots, P; t=T_0, \dots, T, \quad (4)$$

$$\cdot B_{qt} \leq H * BD_{qt}, \quad q=1, \dots, Q; t=T_0, \dots, T, \quad (5)$$

As restrições (4) e (5) garantem que a fração de conclusão normalizada de cada projeto e serviço, respectivamente, em qualquer período de tempo não exceda o valor correspondente desejado multiplicado pelo fator H. Sendo que o valor de H é determinado previamente no input do programa.

$$\cdot \sum_p C_{pt} \leq \sum_p CD_{pt}, \quad t=T_0, \dots, T, \quad (6)$$

$$\cdot \sum_q D_{qt} \leq \sum_q DD_{qt}, \quad t=T_0, \dots, T, \quad (7)$$

As restrições (6) e (7) garantem que a quantidade de espaço normalizada de cada projeto e serviço, respectivamente, em qualquer período de tempo não exceda o valor correspondente desejado. Isto é feito garantindo que para cada período de tempo estudado a soma de todos os espaços alocados para cada projeto ou serviço seja menor ou igual a soma de todos os espaços desejados para cada projeto ou serviço.

$$\sum_m R_{mt} + \sum_p CD_{pt} + \sum_q DD_{qt} \leq TOT_t, \quad t=T_0, \dots, T, \quad (8)$$

A restrição (8) assegura que a quantidade total de espaço disponível nas plataformas em qualquer período de tempo não seja excedida.

$$A_{pt}, AD_{pt}, B_{qt}, BD_{qt}, C_{pt}, CD_{pt}, D_{qt}, DD_{qt}, R_{mt} \geq 0, p=1, \dots, P; q=1, \dots, Q; t=T_0, \dots, T; \quad (9)$$

A restrição (9) garante que as variáveis de decisão não possuam valor negativo.

5.2 Espaço Requerido nas Plataformas

Os serviços de manutenção e reparo nas plataformas requerem sempre um espaço disponível nas plataformas para que eles sejam realizados e as equipes responsáveis pelos serviços possam atuar de maneira correta. Porém esses espaços são dados que possuem uma grande incerteza agregada aos seus valores, já que esse espaço pode mudar com qualquer alteração na programação da plataforma, o que ocorre naturalmente. Logo será feita uma análise probabilística, utilizando o método “Chance Constrained Programming”, da variável da quantidade de espaço requerido para tarefas de emergência nas plataformas em um dado período de tempo (R_{mt}), que consta no modelo apresentado.

O método “Chance Constrained Programming” é uma das principais abordagens para lidar com parâmetros aleatórios em problemas de otimização. As áreas típicas de aplicação são engenharia e finanças, onde as incertezas, como a demanda do produto, condições meteorológicas ou demográficas, taxas de câmbio e outros entram nas desigualdades que descrevem o funcionamento de um sistema em consideração. A principal dificuldade de tais modelos é devido às decisões ótimas que têm de ser tomadas antes da observação dos parâmetros aleatórios. Nesta situação, é difícil encontrar qualquer decisão que iria excluir uma violação de uma restrição posterior causada por inesperados efeitos aleatórios. Às vezes, tal violação de restrição pode ser equilibrada depois por algumas decisões de compensação tomadas em uma segunda etapa.

Em muitas aplicações, contudo, as compensações simplesmente não existem ou não podem ser modeladas de qualquer forma razoáveis. Em tais circunstâncias, pode-se preferir insistir em decisões que garantam a viabilidade "tanto quanto possível". Este termo refere-se mais uma vez ao fato de que a violação de restrição quase nunca pode ser evitada devido a eventos inesperados extremos. Por outro lado, ao conhecer ou aproximar a distribuição do parâmetro aleatório, faz sentido chamar as decisões de viáveis (em um sentido estocástico) sempre que eles são viáveis com alta probabilidade, ou seja, apenas uma baixa porcentagem de realizações do parâmetro aleatório leva a violação de restrição com esta decisão fixa. Uma forma genérica para expressar tal restrição probabilística como uma desigualdade é:

$$P\{h(x, \zeta) \geq 0\} \geq p.$$

Embora exista uma série de fontes de incerteza associados a tarefas de emergência, tais como dados de ocorrência, duração e quantidade de espaço, o foco aqui é sobre este último. A razão para isso é que o desempenho dos projetos, serviços e tarefas é determinado em grande parte por limitações de espaço.

Para conhecer o perfil de distribuição e as demais características dos dados relativos às vagas utilizadas em tarefas de emergências R_{mt} , serão usados os registros das ocorrências em Plataformas semelhantes R_{st} , em um período de tempo t .

A fim de ter em conta a incerteza no valor da R_{mt} , podemos escrever a restrição (8) na seguinte forma probabilística:

$$P\{\sum_m R_{mt} + \sum_p C_{pt} + \sum_q D_{qt} \leq TOT_t\} \geq \alpha_t, t=T_0, \dots, T, \quad (10)$$

Onde as seguintes notações adicionais são usadas:

$P\{ \}$ – probabilidade da declaração dentro dos colchetes

α_t – nível de probabilidade aceitável, no período de tempo t .

Assumindo que a distribuição dos valores encontrados para R_{st} é uma distribuição normal e que com o conhecimento da média e da variância desta distribuição, a equação (10) pode ser transformada em equivalentes determinísticos não-lineares. Neste caso, R_{mt} é normalmente distribuída com média, $E(R_{mt})$, e variância, $\text{var}(R_{mt})$. A covariância entre dois valores de R_{mt} , como R_{mt} e R'_{mt} é dada por $\text{cov}(R_{mt}, R'_{mt})$.

Considerando a t th restrição:

$$P\{\sum_m R_{mt} + \sum_p C_{pt} + \sum_q D_{qt} \leq \text{TOT}_t\} \geq \alpha_t, t=T_0, \dots, T, \quad (11)$$

E definindo que:

$$h_t = \sum_m R_{mt} \quad (12)$$

Então h_t é normalmente distribuída com

$$E(h_t) = \sum_m E(R_{mt}) \quad (13)$$

E como a variância de um somatório é igual a sua matriz de covariância dos valores do somatório, temos que:

$$\text{var}(h_t) = D_t \quad (14)$$

Onde

$$D_t = t\text{th matriz de covariância} = \begin{pmatrix} \text{var}(R_{m1}) & \dots & \text{cov}(R_{m1}, R_{mt}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{cov}(R_{mt}, R_{m1}) & \dots & \text{var}(R_{mt}) \end{pmatrix}$$

Lembrando que $\text{cov}(R_{m1}, R_{m1}) = \text{var}(R_{m1})$, e isso ocorre em todos os valores da diagonal da matriz acima.

Agora:

$$P\{h_t \leq \text{TOT}_t\} = P\left\{\frac{[h_t - E(h_t)]}{[\text{var}(h_t)]^{1/2}} \leq \frac{[\text{TOT}_t - E(h_t)]}{[\text{var}(h_t)]^{1/2}}\right\} \geq \alpha_t \quad (15)$$

Onde $[h_t - E(h_t)]/[\text{var}(h_t)]^{1/2}$ é padrão normal, com uma média de zero e desvio padrão de um.

Logo:

$$P\{h_t \leq \text{TOT}_t\} = \Phi\left\{\frac{[\text{TOT}_t - E(h_t)]}{[\text{var}(h_t)]^{1/2}}\right\} \quad (16)$$

A letra grega Φ representa a função de distribuição acumulativa da distribuição normal. Sendo K_α o valor normal padrão tal que $\Phi(K_\alpha) = 1 - \alpha_t$.

A condição $P\{h_t \leq \text{TOT}_t\} \geq \alpha_t$ é realizada se, e somente se

$$\left\{\frac{[\text{TOT}_t - E(h_t)]}{[\text{var}(h_t)]^{1/2}}\right\} \geq K_\alpha \quad (17)$$

Isso produz a seguinte restrição não-linear:

$$\sum_m E(R_{mt}) + K_\alpha (D_t)^{1/2} \leq \text{TOT}_t \quad (18)$$

Isto é equivalente ao caso da restrição original reportada na equação (10).

No modelo desenvolvido a equação (18) acima ficou da seguinte maneira:

$$\sum_m \text{MED_R}_{mt} + (K_\alpha * \text{DVP_R}_t) \leq \text{TOT}_t \quad (19)$$

Onde:

- MED_R_{mt} é equivalente a $E(R_{mt})$

- DVP_R_t é o desvio padrão dos valores de R no período de tempo t

Lembrando que o desvio padrão é igual à raiz quadrada da variância, logo $(D_t)^{1/2}$ pode ser substituído por DVP_R_t .

6 Estudo de Caso do Modelo

Nesta seção será explicitado um exemplo de um caso real do problema de atendimento de diferentes tipos de serviços de manutenção nas plataformas offshore. Inicialmente é necessário fazer uma breve explicação do que consiste e como funciona o software comercial de otimização LINGO® para que seja entendido porque esse foi o software escolhido neste projeto.

O LINGO é uma ferramenta completa, projetada para fazer a construção e resolução de modelos de otimização Lineares, Não-lineares (convexo e não-convexo), Quadráticos, Quadráticos com restrição, Cones de Segunda Ordem, Estocásticos, e Inteiros mais rápidos, mais fáceis e mais eficientes. O LINGO oferece um pacote completamente integrado que inclui uma poderosa linguagem para expressar modelos de otimização, um ambiente cheio de recursos para a construção e edição de problemas, e um conjunto de solucionadores rápidos do tipo “built-in”. Este software foi escolhido devido à linguagem simples que ele possui e o acesso fácil a manuais completos do mesmo.

Agora serão descritos os dados de entrada para o modelo descrito referentes ao exemplo real que será utilizado e os dados de saída do modelo, que possibilitarão a avaliação do mesmo.

Dados de Entrada:

. m - índice que representa as tarefas de emergência;

1 2 3 4 5

As tarefas de emergência são problemas que surgem repentinamente na plataforma e que devem ser atendidos imediatamente para não se desenvolver problemas maiores. Logo essas tarefas são consideradas atendimentos de curto prazo ou manutenções corretivas.

As manutenções corretivas, como explicitado na apresentação do problema deste relatório, são as manutenções decorrentes de defeitos ou falhas nos equipamentos, é indesejada e representa alto custo para a empresa. Não existe plano para esse tipo de manutenção, pois são conduzidas no caso de funcionamento ou estado inadequado de sistemas ou equipamentos, de modo a devolvê-los as suas condições adequadas.

Alguns exemplos destas tarefas de emergências em plataformas são: Vazamento de óleo; Vazamento de gás; Parada de bomba (Bombas de Exportação, Booster, Vácuo, Flotador, Slop, Injeção, Tratamento de água de injeção, Água quente,

Água de resfriamento, Incêndio), Parada de geração, Parada de Compressão, Falha de automação / instrumentação da planta, Parada da Sewage, Parada do tratador eletrolítico de óleo, etc. Para o estudo aqui realizado foi definido que serão estudadas cinco tarefas de emergência que serão representadas por um índice crescente de 1 a 5, como mostrado acima.

. p - índice que representa os projetos de engenharia;

1 2 3 4 5

Os projetos de engenharia são estudos realizados para tratar de possíveis problemas que podem ocorrer futuramente em uma plataforma. Para isso são montadas equipes técnicas que analisam os dados fornecidos pelos fabricantes das peças utilizadas na plataforma e realizam testes nos equipamentos e assim determinam serviços de manutenção que deverão ser realizados futuramente na plataforma analisada, evitando futuros problemas. Logo esses projetos de engenharia são considerados atendimentos de longo prazo ou manutenções preditivas.

A manutenção preditiva, como explicitado na apresentação do problema deste relatório, é o acompanhamento periódico dos equipamentos, baseado na análise de dados coletados através de instrumentos de monitoração online ou inspeções em campo. Pode fazer parte de um conceito maior de 'manutenção centrada em confiabilidade' - contudo, a Manutenção Centrada em Confiabilidade provê os métodos mais rigorosos para se determinar as políticas de manutenção aplicáveis para controle de falhas efetivo para um equipamento ou sistema, e isto inclui a manutenção preventiva.

Alguns exemplos destes projetos presentes em plataformas são: Tratamento Anticorrosivo; Preservação de instrumentos; Poços futuros; Troca de medidores de nível no Vaso do Flare; Instalação de novo forno; Troca de permutadores de calor de aquecimento de óleo do processo; Instalação de permutador para aquecimento de óleo na transferência, etc. Para o estudo aqui realizado foi definido que serão estudados cinco projetos de engenharia que serão representados por um índice crescente de 1 a 5, como mostrado acima.

. q - índice que representa os serviços de manutenção;

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Os serviços de manutenção são aqueles que são realizados de maneira contínua nas plataformas, que evitam problemas maiores que possam gerar futuras despesas excessivas e paradas de produção, acarretando diminuição dos lucros da plataforma. Logo esses serviços são considerados atendimentos de médio prazo ou manutenção preventiva.

A manutenção preventiva, como explicitado na apresentação do problema deste relatório, é o cuidado e o reparo/ajuste por pessoal treinado com o propósito de manter os equipamentos e instalações em condições de operação satisfatórias, provendo inspeção sistemática, detecção e correção de falhas insipientes, tanto antes que elas ocorram quanto antes de terem se desenvolvido em defeitos maiores. As intervenções podem incluir testes, medições, ajustes e substituição de partes, realizados especificamente para prevenir a ocorrência de falhas.

Há uma enorme quantidade de exemplos destes serviços e eles são desdobrados em três tipos: Elétrica (manutenção em disjuntores, manutenção em baterias, manutenção em "no break", manutenção em painel demarrador, manutenção em painel de paralelismo de geradores); Mecânica (manutenção em bombas de óleo, bombas de água, motor do gerador, turbina do gerador, guinchos hidráulicos, guindastes); E Instrumentação (Instrumentos de indicação e transmissão de dados, painel de comando lógico, analisadores de água, detectores de gás / fumaça / chama, transmissores de sinal e controladores de vazão). Para o estudo aqui realizado foi definido que serão estudados dez serviços de manutenção que serão representados por um índice crescente de 1 a 10, como mostrado acima.

. t – índice que representa período de tempo;

T0 T1 T2 T3 T4

Para que o exemplo estudado possa demonstrar eficientemente um caso real foi definido que serão estudados os diversos serviços explicados em diferentes períodos de tempo. Assim o programa permitirá uma projeção dos serviços em prazos determinados para estudo dos atendimentos às plataformas. Os diversos serviços são divididos em mensais, trimestrais, semestrais e anuais. Assim foi definido que para o estudo aqui realizado haveria 5 períodos de tempo que serão representados por T0, T1, T2, T3 e T4, como mostrado acima.

. s - índice que representa as Plataformas Offshore;

P40 P51 P52 P55 P56

As plataformas que serão analisadas devem ser do mesmo tipo e que possuam o mesmo propósito. Assim os diversos serviços explicados acima serão similares para as plataformas, assim como os valores encontrados de espaço nas plataformas para esses serviços. Logo, para o estudo aqui realizado foi definido que serão estudadas as plataformas P-51, P-52, P-56, P-40 e P- 55, que são do tipo semi-sub de produção. Sendo que a P-51, P-52 e P-56 são consideradas plataformas irmãs, já que são exatamente iguais em todos os itens possíveis.

Os seguintes itens dos dados de entrada são valores estipulados pelos responsáveis pelos estudos de manutenção das plataformas e são incluídos nos sistemas internos das empresas responsáveis pelas plataformas para que seja feito o planejamento de atendimentos dos projetos de engenharia (p) e serviços de manutenção (q).

. AD_{pt} - Fração de conclusão desejada do projeto p no período de tempo t;

0.287 0.897 0.575 0.163 0.001

0.314 0.931 0.600 0.194 0.001

0.339 0.916 0.615 0.204 0.135

0.373 0.933 0.651 0.237 0.259

0.414 0.943 0.670 0.283 0.482

. BD_{qt} - Fração de conclusão desejada do serviço q no período de tempo t;

0.261 0.956 0.549 0.114 0.001 0.864 0.268 0.045 0.001 0.001

0.295 0.931 0.573 0.146 0.001 0.972 0.454 0.096 0.001 0.001

0.313 0.942 0.626 0.162 0.124 1.000 0.662 0.138 0.045 0.252

0.340 0.959 0.633 0.175 0.244 1.000 0.865 0.154 0.084 0.403

0.382 1.000 0.692 0.211 0.281 1.000 0.893 0.195 0.125 0.534

. C_{pt} – Quantidade de espaço alocado para o projeto p no período de tempo t;

8 12 5 9 4

9 10 4 5 2

9 8 4 6 3

9 10 5 5 8

8 12 4 6 4

. D_{qt} – Quantidade de espaço alocado para o serviço q no período de tempo t;

5 4 3 2 1 9 3 4 8 4

2 4 4 3 1 8 5 2 6 5

5 4 5 2 1 9 5 2 5 4

3 4 5 3 2 9 5 2 8 4

2 3 5 3 1 8 5 2 7 5

. E_{pt} – Peso de prioridade do projeto p no período de tempo t;

5 4 3 2 1

5 4 2 1 3

5 3 4 2 1

5 4 2 3 1

5 3 4 2 1

. F_{qt} – Peso de prioridade do serviço q no período de tempo t;

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

9 10 8 6 7 4 5 1 3 2

9 10 7 8 5 6 4 2 1 3

10 9 7 8 6 4 5 2 1 3

10 9 8 6 7 5 3 4 2 1

Os seguintes itens dos dados de entrada são valores estipulados para as plataformas estudadas (P40, P51, P52, P55 e P56) e tentam mostrar um cenário real presente nas plataformas brasileiras.

. R_{st} – Quantidade de espaço requerido para tarefas de emergência na plataforma s no período de tempo t ;

Os dados abaixo são utilizados para calcular a média e o desvio padrão de R_{mt} no período t .

s	P40	P51	P52	P55	P56
t = 0	10	9	17	5	10
t = 1	8	10	14	6	7
t = 2	11	9	14	3	9
t = 3	14	6	16	3	12
t = 4	13	4	16	3	7
t = 5	14	10	15	3	10
t = 6	7	7	20	4	15
t = 7	11	10	16	4	9
t = 8	13	7	17	4	9
t = 9	9	14	20	3	7
t = 10	10	2	16	7	10
t = 11	8	16	13	1	14
t = 12	7	9	18	5	12
t = 13	9	11	17	1	4
t = 14	9	7	18	5	8
t = 15	7	9	16	1	6
t = 16	10	6	20	7	14
t = 17	10	5	18	6	7
t = 18	11	1	17	5	14
t = 19	10	6	16	7	9
t = 20	10	10	15	5	7

s	P40	P51	P52	P55	P56
t = 27	13	8	15	9	6
t = 28	16	6	16	9	15
t = 29	10	8	15	3	8
t = 30	14	11	17	7	15
t = 31	8	7	16	7	9
t = 32	12	4	18	5	11
t = 33	13	4	17	8	14
t = 34	15	10	15	2	12
t = 35	11	13	18	6	11
t = 36	10	5	19	5	7
t = 37	12	9	18	6	9
t = 38	10	10	18	4	10
t = 39	13	12	14	6	13
t = 40	8	12	17	5	13
t = 41	9	6	18	5	8
t = 42	8	5	13	7	12
t = 43	10	5	19	7	14
t = 44	11	4	16	4	7
t = 45	11	12	17	6	8
t = 46	10	10	16	1	10
t = 47	15	12	18	8	11

s	P40	P51	P52	P55	P56
t = 21	10	8	20	3	16
t = 22	14	12	18	5	8
t = 23	11	11	15	6	8
t = 24	11	5	17	5	8
t = 25	10	15	16	6	12
t = 26	15	6	16	5	5

s	P40	P51	P52	P55	P56
t = 48	8	4	19	4	8
t = 49	10	9	17	6	16
t = 50	6	7	14	7	7
t = 51	14	8	16	2	14
t = 52	12	7	15	9	6

. R_{mt} – Quantidade de espaço alocado para tarefa de emergência m no período de tempo t;

12 6 16 5 10

12 8 14 5 10

10 6 16 5 12

8 6 16 5 12

9 7 14 6 10

. TOT_t – Quantidade total de espaço disponível no período de tempo t;

130 145 140 135 150

Os seguintes itens dos dados de entrada são estipulados para haver o bom funcionamento do modelo que será implementado.

. H – Parâmetro da fração completada;

1.04

. K – Parâmetro de quantidade de espaço;

1.17

Os dados de saída são quatro matrizes que definem se o modelo é eficiente para os dados de entrada que lhe foram apresentados. As matrizes que são os dados de saída do modelo são as seguintes:

. A_{pt} – Fração de conclusão do projeto p no período de tempo t [5 x 5];

. B_{qt} – Fração de conclusão do serviço q no período de tempo t [5 x 10];

. CD_{pt} – Quantidade desejada de espaço alocado para o projeto p no período de tempo t [5 x 5];

. DD_{qt} – Quantidade desejada de espaço alocado para o serviço q no período de tempo t [5 x 10];

7 Resultados

Após a implementação do modelo no software LINGO® com o uso dos valores de um cenário real, foram gerados os resultados do programa. Entre eles estão os valores que possibilitam montar as matrizes dos dados de saída do programa. Essas matrizes são expostas a seguir e os demais resultados do programa serão expostos no Anexo A no final do relatório.

- A_{pt} – Fração de conclusão do projeto p no período de tempo t [5 x 5];

$$\begin{pmatrix} 0.298 & 0.933 & 0.598 & 0.169 & 0.001 \\ 0.327 & 0.968 & 0.624 & 0.202 & 0.001 \\ 0.353 & 0.953 & 0.640 & 0.212 & 0.140 \\ 0.388 & 0.970 & 0.677 & 0.246 & 0.269 \\ 0.431 & 0.981 & 0.697 & 0.294 & 0.501 \end{pmatrix}$$

- B_{qt} – Fração de conclusão do serviço q no período de tempo t [5 x 10];

$$\begin{pmatrix} 0.271 & 0.994 & 0.571 & 0.119 & 0.001 & 0.899 & 0.279 & 0.047 & 0.001 & 0.001 \\ 0.307 & 0.968 & 0.596 & 0.152 & 0.001 & 1.011 & 0.472 & 0.100 & 0.001 & 0.001 \\ 0.326 & 0.980 & 0.651 & 0.168 & 0.129 & 1.040 & 0.688 & 0.144 & 0.047 & 0.262 \\ 0.354 & 0.997 & 0.658 & 0.182 & 0.254 & 1.040 & 0.900 & 0.160 & 0.087 & 0.419 \\ 0.397 & 1.040 & 0.720 & 0.219 & 0.292 & 1.040 & 0.929 & 0.203 & 0.130 & 0.555 \end{pmatrix}$$

- CD_{pt} – Quantidade desejada de espaço alocado para o projeto p no período de tempo t [5 x 5];

$$\begin{pmatrix} 8.00 & 12.00 & 5.00 & 9.00 & 4.00 \\ 9.00 & 10.00 & 4.00 & 5.00 & 2.00 \\ 9.00 & 8.00 & 4.00 & 6.00 & 3.00 \\ 8.00 & 10.00 & 5.00 & 5.00 & 9.00 \\ 8.00 & 12.00 & 4.00 & 6.00 & 4.00 \end{pmatrix}$$

- DD_{qt} – Quantidade desejada de espaço alocado para o serviço q no período de tempo t [5 x 10];

$$\begin{pmatrix} 5.00 & 4.00 & 3.00 & 2.00 & 1.00 & 9.00 & 3.00 & 4.00 & 8.00 & 4.00 \\ 2.00 & 4.00 & 4.00 & 3.00 & 1.00 & 8.00 & 5.00 & 2.00 & 6.00 & 5.00 \\ 5.00 & 4.00 & 5.00 & 2.00 & 1.00 & 9.00 & 5.00 & 2.00 & 5.00 & 4.00 \\ 3.00 & 4.00 & 5.00 & 3.00 & 2.00 & 9.00 & 5.00 & 2.00 & 8.00 & 4.00 \\ 2.00 & 3.00 & 5.00 & 3.00 & 1.00 & 8.00 & 5.00 & 2.00 & 7.00 & 5.00 \end{pmatrix}$$

7.1 Análise dos resultados

Fazendo uma avaliação dos resultados pode-se dizer que eles atenderam a expectativa do projeto. Pois o objetivo era que os resultados da implementação do modelo demonstrassem a possibilidade de atendimento das frações de conclusão desejadas de toda a demanda real de manutenção a curto, a médio e em longo prazo nas plataformas estudadas no período de tempo estipulado.

Analisando os números obtidos pode-se observar que os valores para as frações de conclusão do projeto p no período de tempo t (A_{pt}) e do serviço q no mesmo período (B_{qt}) possuem valores sempre com uma pequena margem acima dos valores desejados. Isto é estipulado pelas restrições (4) e (5), respectivamente, onde os valores de A_{pt} e B_{qt} são restritos a serem apenas 4% acima dos valores desejados no máximo de acordo com o valor de 1.04 da constante H. Isso demonstra que todas as frações de conclusão de todos os serviços e projetos seriam completamente concluídas, o que é o ideal para uma empresa prestadora de serviços e projetos de manutenção.

Analisando os números obtidos para a quantidade desejada de espaço alocado para o projeto p no período de tempo t (CD_{pt}) e para o serviço q no mesmo período (DD_{qt}) possuem exatamente os valores de espaço requerido. Esses valores são garantidos pelas restrições (6) e (7), respectivamente, onde a soma dos espaços requeridos deve ser menor ou igual à soma dos espaços desejados. Assim há a garantia que não se deseje nenhum espaço excessivo nas plataformas, pois elas possuem sempre um problema de gerar espaços para todos os serviços e projetos de manutenção, garantindo o bom funcionamento do projeto.

8 Conclusões

Este projeto possibilitou uma análise eficiente da problemática de espaços requeridos em plataformas para que elas possam realizar todos os serviços de manutenção de maneira que elas mantenham um elevado nível de produção.

Os dados de entrada conseguiram demonstrar eficientemente um exemplo real, dando credibilidade aos resultados obtidos. Entretanto os valores utilizados foram apenas números representativos, se fossem utilizados números reais obtidos de programas internos das empresas responsáveis pelos serviços de manutenção de plataformas, o modelo seria ainda mais confiável.

O modelo utilizado se demonstrou ser bem completo mas ele é voltado apenas para o problema tratado neste relatório, se fosse melhor desenvolvido ele poderia tratar de outros problemas recorrentes em plataformas.

A inclusão do estudo de probabilidade para tratar das incertezas incorporadas aos valores da quantidade de espaços disponíveis nas plataformas para as tarefas de emergência foi satisfatória, já que possibilitou uma maior realidade dos resultados. Porém o modelo poderia ser aperfeiçoado para retratar de maneira mais eficiente a realidade se forem analisados outras fontes de incertezas associadas às tarefas de emergência, como dados de ocorrência, duração dos serviços e os erros humanos recorrentes.

9 Referências

[1] GONTIJO FILHO, J. A. R., *A Retomada da Indústria Naval no Brasil: Características e Potencialidades na construção de Plataformas Offshore*. Monografia de conclusão, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Campinas, SP, Brasil, 2011.

[2] ORDOÑEZ, R., ROSA, B. *Sem manutenção, plataformas perdem eficiência.*: Jornal Virtual, 2013. Disponível em:

<http://oglobo.globo.com/economia/sem-manutencao-plataformas-perdem-eficiencia-7406452>

Acesso em: 02 mar. 2013, 17:15:22.

[3] Góes, F.. *MPE e IESA fecham contratos de R\$ 1 bi* : Revista virtual "Portos e Navios", 2013. Disponível em:

<http://www.portosenavios.com.br/site/noticias-do-dia/industria-naval-e-offshore/20792-mpe-e-iesa-fecham-contratos-de-r-1-bi>

Acesso em: 05 mar. 2013, 14:12:42.

[4] Abdalla, T. C., *Análise de estrutura administrativa e Métodos de gerenciamento de frota: Estudo de caso*. Projeto Final de Curso de Graduação, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

[5] Baptista, L. A. R., *Manutenção Preditiva de Motores Diesel Através de Parâmetros Operacionais*. Tese de D.SC, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1999.

[6] Seixas, E. S., "Erro Humano na Manutenção". *Simpósio Internacional de Confiabilidade (SIC)*, P4-S2, Fortaleza, CE, Brasil, 18-20 Maio 2011.

[7] Henrion, R.. *Introduction to Chance-Constrained Programming*: Site da Comunidade de Programação Estocásticas, 2013. Disponível em:

<http://www.stoprog.org/index.html?SPIntro/intro2ccp.html>

Acesso em: 06 mar. 2013, 15:52:12.

[8] Taylor,R.W.(1996) A linear programming model to manage the maintenance backlog. **Omega International Journal of Management Science**, vol.24,no.2,pp.217-227.

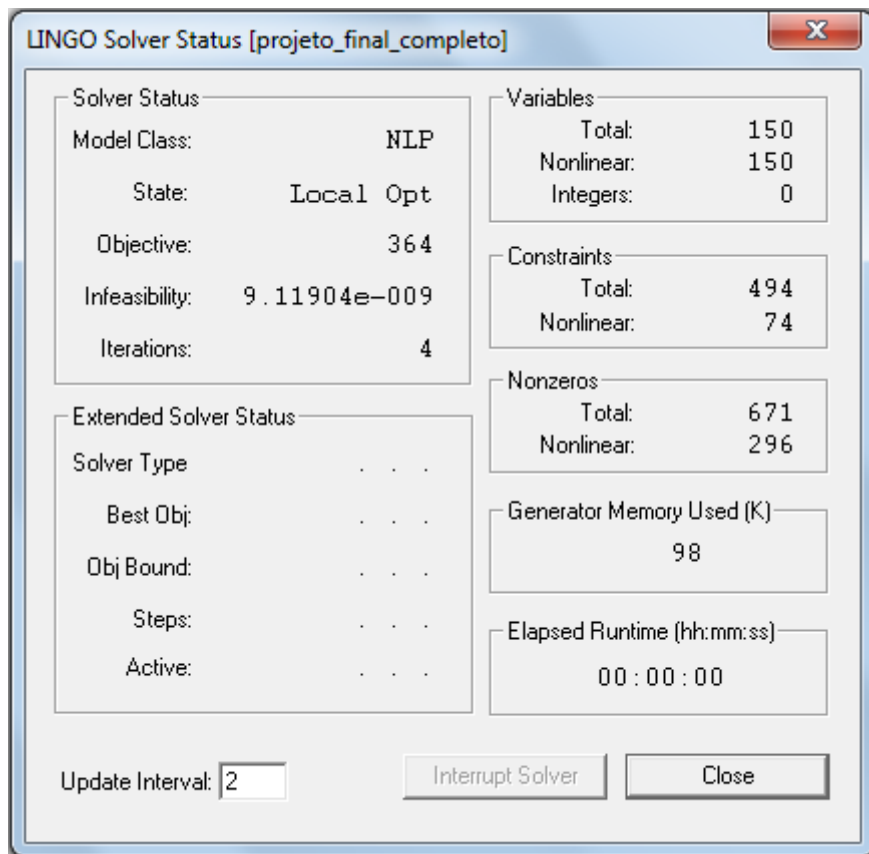
[9] Gali, V.J.& Brown, C.G.(2000) Assisting decision-making in Queensland barley production through chance constrained programming. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, vol.44, no.2, pp.269-287.

[10] RIBAS. G., *Modelo de Programação Estocástica para o Planejamento Estratégico da Cadeia Integrada de Petróleo*. Tese de M.Sc., PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

10 ANEXOS

Anexo A – Resultados

O modelo matemático no LINGO apresenta resultados coerentes para os casos estudados. Uma verificação detalhada nos resultados de número de vagas constatou que a pequena variação que houve entre os dados de entrada e o resultado apresentado são devido à variável ser número inteiro e a dimensão do parâmetro K, pois é necessário $K^n \geq 1$ interações para alterar uma vaga.



Local optimal solution found.

Objective value:

364.0000

Total solver iterations:

4

Variable	Value	Reduced Cost
H	1.040000	0.000000
K	1.170000	0.000000
TOT (T0)	130.0000	0.000000
TOT (T1)	145.0000	0.000000
TOT (T2)	140.0000	0.000000
TOT (T3)	135.0000	0.000000
TOT (T4)	150.0000	0.000000
DVP_R (T0)	5.004000	0.000000
DVP_R (T1)	5.434000	0.000000
DVP_R (T2)	4.624000	0.000000
DVP_R (T3)	4.706000	0.000000
DVP_R (T4)	4.822000	0.000000

AD (T0, 1)	0.2870000	0.000000
AD (T0, 2)	0.8970000	0.000000
AD (T0, 3)	0.5750000	0.000000
AD (T0, 4)	0.1630000	0.000000
AD (T0, 5)	0.1000000E-02	0.000000
AD (T1, 1)	0.3140000	0.000000
AD (T1, 2)	0.9310000	0.000000
AD (T1, 3)	0.6000000	0.000000
AD (T1, 4)	0.1940000	0.000000
AD (T1, 5)	0.1000000E-02	0.000000
AD (T2, 1)	0.3390000	0.000000
AD (T2, 2)	0.9160000	0.000000
AD (T2, 3)	0.6150000	0.000000
AD (T2, 4)	0.2040000	0.000000
AD (T2, 5)	0.1350000	0.000000
AD (T3, 1)	0.3730000	0.000000
AD (T3, 2)	0.9330000	0.000000
AD (T3, 3)	0.6510000	0.000000
AD (T3, 4)	0.2370000	0.000000
AD (T3, 5)	0.2590000	0.000000
AD (T4, 1)	0.4140000	0.000000
AD (T4, 2)	0.9430000	0.000000
AD (T4, 3)	0.6700000	0.000000
AD (T4, 4)	0.2830000	0.000000
AD (T4, 5)	0.4820000	0.000000
C (T0, 1)	8.000000	0.000000
C (T0, 2)	12.00000	0.000000
C (T0, 3)	5.000000	0.000000
C (T0, 4)	9.000000	0.000000
C (T0, 5)	4.000000	0.000000
C (T1, 1)	9.000000	0.000000
C (T1, 2)	10.00000	0.000000
C (T1, 3)	4.000000	0.000000
C (T1, 4)	5.000000	0.000000
C (T1, 5)	2.000000	0.000000
C (T2, 1)	9.000000	0.000000
C (T2, 2)	8.000000	0.000000
C (T2, 3)	4.000000	0.000000
C (T2, 4)	6.000000	0.000000
C (T2, 5)	3.000000	0.000000
C (T3, 1)	9.000000	0.000000
C (T3, 2)	10.00000	0.000000
C (T3, 3)	5.000000	0.000000
C (T3, 4)	5.000000	0.000000
C (T3, 5)	8.000000	0.000000
C (T4, 1)	8.000000	0.000000
C (T4, 2)	12.00000	0.000000
C (T4, 3)	4.000000	0.000000
C (T4, 4)	6.000000	0.000000
C (T4, 5)	4.000000	0.000000
E (T0, 1)	5.000000	0.000000
E (T0, 2)	4.000000	0.000000
E (T0, 3)	3.000000	0.000000
E (T0, 4)	2.000000	0.000000
E (T0, 5)	1.000000	0.000000
E (T1, 1)	5.000000	0.000000
E (T1, 2)	4.000000	0.000000
E (T1, 3)	2.000000	0.000000
E (T1, 4)	1.000000	0.000000
E (T1, 5)	3.000000	0.000000
E (T2, 1)	5.000000	0.000000
E (T2, 2)	3.000000	0.000000
E (T2, 3)	4.000000	0.000000
E (T2, 4)	2.000000	0.000000

E (T2, 5)	1.000000	0.000000
E (T3, 1)	5.000000	0.000000
E (T3, 2)	4.000000	0.000000
E (T3, 3)	2.000000	0.000000
E (T3, 4)	3.000000	0.000000
E (T3, 5)	1.000000	0.000000
E (T4, 1)	5.000000	0.000000
E (T4, 2)	3.000000	0.000000
E (T4, 3)	4.000000	0.000000
E (T4, 4)	2.000000	0.000000
E (T4, 5)	1.000000	0.000000
A (T0, 1)	0.2984800	0.000000
A (T0, 2)	0.9328800	0.000000
A (T0, 3)	0.5980000	0.000000
A (T0, 4)	0.1695200	0.000000
A (T0, 5)	0.1040000E-02	0.000000
A (T1, 1)	0.3265600	0.000000
A (T1, 2)	0.9682400	0.000000
A (T1, 3)	0.6240000	0.000000
A (T1, 4)	0.2017600	0.000000
A (T1, 5)	0.1040000E-02	0.000000
A (T2, 1)	0.3525600	0.000000
A (T2, 2)	0.9526400	0.000000
A (T2, 3)	0.6396000	0.000000
A (T2, 4)	0.2121600	0.000000
A (T2, 5)	0.1404000	0.000000
A (T3, 1)	0.3879200	0.000000
A (T3, 2)	0.9703200	0.000000
A (T3, 3)	0.6770400	0.000000
A (T3, 4)	0.2464800	0.000000
A (T3, 5)	0.2693600	0.000000
A (T4, 1)	0.4305600	0.000000
A (T4, 2)	0.9807200	0.000000
A (T4, 3)	0.6968000	0.000000
A (T4, 4)	0.2943200	0.000000
A (T4, 5)	0.5012800	0.000000
CD (T0, 1)	8.000000	0.000000
CD (T0, 2)	12.000000	0.000000
CD (T0, 3)	5.000000	0.000000
CD (T0, 4)	9.000000	0.000000
CD (T0, 5)	4.000000	0.000000
CD (T1, 1)	9.000000	0.000000
CD (T1, 2)	10.000000	0.000000
CD (T1, 3)	4.000000	0.000000
CD (T1, 4)	5.000000	0.000000
CD (T1, 5)	2.000000	0.000000
CD (T2, 1)	9.000000	0.000000
CD (T2, 2)	8.000000	0.000000
CD (T2, 3)	4.000000	0.000000
CD (T2, 4)	6.000000	0.000000
CD (T2, 5)	3.000000	0.000000
CD (T3, 1)	9.000000	0.000000
CD (T3, 2)	10.000000	0.000000
CD (T3, 3)	5.000000	0.000000
CD (T3, 4)	5.000000	0.000000
CD (T3, 5)	8.000000	0.000000
CD (T4, 1)	8.000000	0.000000
CD (T4, 2)	12.000000	0.000000
CD (T4, 3)	4.000000	0.000000
CD (T4, 4)	6.000000	0.000000
CD (T4, 5)	4.000000	0.000000
BD (T0, 1)	0.2610000	0.000000
BD (T0, 2)	0.9560000	0.000000
BD (T0, 3)	0.5490000	0.000000

BD (T0, 4)	0.1140000	0.000000
BD (T0, 5)	0.1000000E-02	0.000000
BD (T0, 6)	0.8640000	0.000000
BD (T0, 7)	0.2680000	0.000000
BD (T0, 8)	0.4500000E-01	0.000000
BD (T0, 9)	0.1000000E-02	0.000000
BD (T0, 10)	0.1000000E-02	0.000000
BD (T1, 1)	0.2950000	0.000000
BD (T1, 2)	0.9310000	0.000000
BD (T1, 3)	0.5730000	0.000000
BD (T1, 4)	0.1460000	0.000000
BD (T1, 5)	0.1000000E-02	0.000000
BD (T1, 6)	0.9720000	0.000000
BD (T1, 7)	0.4540000	0.000000
BD (T1, 8)	0.9600000E-01	0.000000
BD (T1, 9)	0.1000000E-02	0.000000
BD (T1, 10)	0.1000000E-02	0.000000
BD (T2, 1)	0.3130000	0.000000
BD (T2, 2)	0.9420000	0.000000
BD (T2, 3)	0.6260000	0.000000
BD (T2, 4)	0.1620000	0.000000
BD (T2, 5)	0.1240000	0.000000
BD (T2, 6)	1.000000	0.000000
BD (T2, 7)	0.6620000	0.000000
BD (T2, 8)	0.1380000	0.000000
BD (T2, 9)	0.4500000E-01	0.000000
BD (T2, 10)	0.2520000	0.000000
BD (T3, 1)	0.3400000	0.000000
BD (T3, 2)	0.9590000	0.000000
BD (T3, 3)	0.6330000	0.000000
BD (T3, 4)	0.1750000	0.000000
BD (T3, 5)	0.2440000	0.000000
BD (T3, 6)	1.000000	0.000000
BD (T3, 7)	0.8650000	0.000000
BD (T3, 8)	0.1540000	0.000000
BD (T3, 9)	0.8400000E-01	0.000000
BD (T3, 10)	0.4030000	0.000000
BD (T4, 1)	0.3820000	0.000000
BD (T4, 2)	1.000000	0.000000
BD (T4, 3)	0.6920000	0.000000
BD (T4, 4)	0.2110000	0.000000
BD (T4, 5)	0.2810000	0.000000
BD (T4, 6)	1.000000	0.000000
BD (T4, 7)	0.8930000	0.000000
BD (T4, 8)	0.1950000	0.000000
BD (T4, 9)	0.1250000	0.000000
BD (T4, 10)	0.5340000	0.000000
D (T0, 1)	5.000000	0.000000
D (T0, 2)	4.000000	0.000000
D (T0, 3)	3.000000	0.000000
D (T0, 4)	2.000000	0.000000
D (T0, 5)	1.000000	0.000000
D (T0, 6)	9.000000	0.000000
D (T0, 7)	3.000000	0.000000
D (T0, 8)	4.000000	0.000000
D (T0, 9)	8.000000	0.000000
D (T0, 10)	4.000000	0.000000
D (T1, 1)	2.000000	0.000000
D (T1, 2)	4.000000	0.000000
D (T1, 3)	4.000000	0.000000
D (T1, 4)	3.000000	0.000000
D (T1, 5)	1.000000	0.000000
D (T1, 6)	8.000000	0.000000
D (T1, 7)	5.000000	0.000000

D(T1, 8)	2.000000	0.000000
D(T1, 9)	6.000000	0.000000
D(T1, 10)	5.000000	0.000000
D(T2, 1)	5.000000	0.000000
D(T2, 2)	4.000000	0.000000
D(T2, 3)	5.000000	0.000000
D(T2, 4)	2.000000	0.000000
D(T2, 5)	1.000000	0.000000
D(T2, 6)	9.000000	0.000000
D(T2, 7)	5.000000	0.000000
D(T2, 8)	2.000000	0.000000
D(T2, 9)	5.000000	0.000000
D(T2, 10)	4.000000	0.000000
D(T3, 1)	3.000000	0.000000
D(T3, 2)	4.000000	0.000000
D(T3, 3)	5.000000	0.000000
D(T3, 4)	3.000000	0.000000
D(T3, 5)	2.000000	0.000000
D(T3, 6)	9.000000	0.000000
D(T3, 7)	5.000000	0.000000
D(T3, 8)	2.000000	0.000000
D(T3, 9)	8.000000	0.000000
D(T3, 10)	4.000000	0.000000
D(T4, 1)	2.000000	0.000000
D(T4, 2)	3.000000	0.000000
D(T4, 3)	5.000000	0.000000
D(T4, 4)	3.000000	0.000000
D(T4, 5)	1.000000	0.000000
D(T4, 6)	8.000000	0.000000
D(T4, 7)	5.000000	0.000000
D(T4, 8)	2.000000	0.000000
D(T4, 9)	7.000000	0.000000
D(T4, 10)	5.000000	0.000000
F(T0, 1)	10.00000	0.000000
F(T0, 2)	9.000000	0.000000
F(T0, 3)	8.000000	0.000000
F(T0, 4)	7.000000	0.000000
F(T0, 5)	6.000000	0.000000
F(T0, 6)	5.000000	0.000000
F(T0, 7)	4.000000	0.000000
F(T0, 8)	3.000000	0.000000
F(T0, 9)	2.000000	0.000000
F(T0, 10)	1.000000	0.000000
F(T1, 1)	9.000000	0.000000
F(T1, 2)	10.00000	0.000000
F(T1, 3)	8.000000	0.000000
F(T1, 4)	6.000000	0.000000
F(T1, 5)	7.000000	0.000000
F(T1, 6)	4.000000	0.000000
F(T1, 7)	5.000000	0.000000
F(T1, 8)	1.000000	0.000000
F(T1, 9)	3.000000	0.000000
F(T1, 10)	2.000000	0.000000
F(T2, 1)	9.000000	0.000000
F(T2, 2)	10.00000	0.000000
F(T2, 3)	7.000000	0.000000
F(T2, 4)	8.000000	0.000000
F(T2, 5)	5.000000	0.000000
F(T2, 6)	6.000000	0.000000
F(T2, 7)	4.000000	0.000000
F(T2, 8)	2.000000	0.000000
F(T2, 9)	1.000000	0.000000
F(T2, 10)	3.000000	0.000000
F(T3, 1)	10.00000	0.000000

F(T3, 2)	9.000000	0.000000
F(T3, 3)	7.000000	0.000000
F(T3, 4)	8.000000	0.000000
F(T3, 5)	6.000000	0.000000
F(T3, 6)	4.000000	0.000000
F(T3, 7)	5.000000	0.000000
F(T3, 8)	2.000000	0.000000
F(T3, 9)	1.000000	0.000000
F(T3, 10)	3.000000	0.000000
F(T4, 1)	10.000000	0.000000
F(T4, 2)	9.000000	0.000000
F(T4, 3)	8.000000	0.000000
F(T4, 4)	6.000000	0.000000
F(T4, 5)	7.000000	0.000000
F(T4, 6)	5.000000	0.000000
F(T4, 7)	3.000000	0.000000
F(T4, 8)	4.000000	0.000000
F(T4, 9)	2.000000	0.000000
F(T4, 10)	1.000000	0.000000
B(T0, 1)	0.2714400	0.000000
B(T0, 2)	0.9942400	0.000000
B(T0, 3)	0.5709600	0.000000
B(T0, 4)	0.1185600	0.000000
B(T0, 5)	0.1040000E-02	0.000000
B(T0, 6)	0.8985600	0.000000
B(T0, 7)	0.2787200	0.000000
B(T0, 8)	0.4680000E-01	0.000000
B(T0, 9)	0.1040000E-02	0.000000
B(T0, 10)	0.1040000E-02	0.000000
B(T1, 1)	0.3068000	0.000000
B(T1, 2)	0.9682400	0.000000
B(T1, 3)	0.5959200	0.000000
B(T1, 4)	0.1518400	0.000000
B(T1, 5)	0.1040000E-02	0.000000
B(T1, 6)	1.010880	0.000000
B(T1, 7)	0.4721600	0.000000
B(T1, 8)	0.9984000E-01	0.000000
B(T1, 9)	0.1040000E-02	0.000000
B(T1, 10)	0.1040000E-02	0.000000
B(T2, 1)	0.3255200	0.000000
B(T2, 2)	0.9796800	0.000000
B(T2, 3)	0.6510400	0.000000
B(T2, 4)	0.1684800	0.000000
B(T2, 5)	0.1289600	0.000000
B(T2, 6)	1.040000	0.000000
B(T2, 7)	0.6884800	0.000000
B(T2, 8)	0.1435200	0.000000
B(T2, 9)	0.4680000E-01	0.000000
B(T2, 10)	0.2620800	0.000000
B(T3, 1)	0.3536000	0.000000
B(T3, 2)	0.9973600	0.000000
B(T3, 3)	0.6583200	0.000000
B(T3, 4)	0.1820000	0.000000
B(T3, 5)	0.2537600	0.000000
B(T3, 6)	1.040000	0.000000
B(T3, 7)	0.8996000	0.000000
B(T3, 8)	0.1601600	0.000000
B(T3, 9)	0.8736000E-01	0.000000
B(T3, 10)	0.4191200	0.000000
B(T4, 1)	0.3972800	0.000000
B(T4, 2)	1.040000	0.000000
B(T4, 3)	0.7196800	0.000000
B(T4, 4)	0.2194400	0.000000
B(T4, 5)	0.2922400	0.000000

B (T4, 6)	1.040000	0.000000
B (T4, 7)	0.9287200	0.000000
B (T4, 8)	0.2028000	0.000000
B (T4, 9)	0.1300000	0.000000
B (T4, 10)	0.5553600	0.000000
DD (T0, 1)	5.000000	0.000000
DD (T0, 2)	4.000000	0.000000
DD (T0, 3)	3.000000	0.000000
DD (T0, 4)	2.000000	0.000000
DD (T0, 5)	1.000000	0.000000
DD (T0, 6)	9.000000	0.000000
DD (T0, 7)	3.000000	0.000000
DD (T0, 8)	4.000000	0.000000
DD (T0, 9)	8.000000	0.000000
DD (T0, 10)	4.000000	0.000000
DD (T1, 1)	2.000000	0.000000
DD (T1, 2)	4.000000	0.000000
DD (T1, 3)	4.000000	0.000000
DD (T1, 4)	3.000000	0.000000
DD (T1, 5)	1.000000	0.000000
DD (T1, 6)	8.000000	0.000000
DD (T1, 7)	5.000000	0.000000
DD (T1, 8)	2.000000	0.000000
DD (T1, 9)	6.000000	0.000000
DD (T1, 10)	5.000000	0.000000
DD (T2, 1)	5.000000	0.000000
DD (T2, 2)	4.000000	0.000000
DD (T2, 3)	5.000000	0.000000
DD (T2, 4)	2.000000	0.000000
DD (T2, 5)	1.000000	0.000000
DD (T2, 6)	9.000000	0.000000
DD (T2, 7)	5.000000	0.000000
DD (T2, 8)	2.000000	0.000000
DD (T2, 9)	5.000000	0.000000
DD (T2, 10)	4.000000	0.000000
DD (T3, 1)	3.000000	0.000000
DD (T3, 2)	4.000000	0.000000
DD (T3, 3)	5.000000	0.000000
DD (T3, 4)	3.000000	0.000000
DD (T3, 5)	2.000000	0.000000
DD (T3, 6)	9.000000	0.000000
DD (T3, 7)	5.000000	0.000000
DD (T3, 8)	2.000000	0.000000
DD (T3, 9)	8.000000	0.000000
DD (T3, 10)	4.000000	0.000000
DD (T4, 1)	2.000000	0.000000
DD (T4, 2)	3.000000	0.000000
DD (T4, 3)	5.000000	0.000000
DD (T4, 4)	3.000000	0.000000
DD (T4, 5)	1.000000	0.000000
DD (T4, 6)	8.000000	0.000000
DD (T4, 7)	5.000000	0.000000
DD (T4, 8)	2.000000	0.000000
DD (T4, 9)	7.000000	0.000000
DD (T4, 10)	5.000000	0.000000
R (T0, 1)	12.000000	0.000000
R (T0, 2)	6.000000	0.000000
R (T0, 3)	16.000000	0.000000
R (T0, 4)	5.000000	0.000000
R (T0, 5)	10.000000	0.000000
R (T1, 1)	12.000000	0.000000
R (T1, 2)	8.000000	0.000000
R (T1, 3)	14.000000	0.000000
R (T1, 4)	5.000000	0.000000

R (T1, 5)	10.00000	0.000000
R (T2, 1)	10.00000	0.000000
R (T2, 2)	6.000000	0.000000
R (T2, 3)	16.00000	0.000000
R (T2, 4)	5.000000	0.000000
R (T2, 5)	12.00000	0.000000
R (T3, 1)	8.000000	0.000000
R (T3, 2)	6.000000	0.000000
R (T3, 3)	16.00000	0.000000
R (T3, 4)	5.000000	0.000000
R (T3, 5)	12.00000	0.000000
R (T4, 1)	9.000000	0.000000
R (T4, 2)	7.000000	0.000000
R (T4, 3)	14.00000	0.000000
R (T4, 4)	6.000000	0.000000
R (T4, 5)	10.00000	0.000000
MED_R (T0, 1)	9.600000	0.000000
MED_R (T0, 2)	9.700000	0.000000
MED_R (T0, 3)	9.500000	0.000000
MED_R (T0, 4)	10.30000	0.000000
MED_R (T0, 5)	10.30000	0.000000
MED_R (T1, 1)	9.700000	0.000000
MED_R (T1, 2)	9.300000	0.000000
MED_R (T1, 3)	8.600000	0.000000
MED_R (T1, 4)	10.30000	0.000000
MED_R (T1, 5)	9.600000	0.000000
MED_R (T2, 1)	10.40000	0.000000
MED_R (T2, 2)	10.80000	0.000000
MED_R (T2, 3)	10.50000	0.000000
MED_R (T2, 4)	9.800000	0.000000
MED_R (T2, 5)	10.60000	0.000000
MED_R (T3, 1)	11.10000	0.000000
MED_R (T3, 2)	10.60000	0.000000
MED_R (T3, 3)	11.30000	0.000000
MED_R (T3, 4)	10.00000	0.000000
MED_R (T3, 5)	11.00000	0.000000
MED_R (T4, 1)	10.10000	0.000000
MED_R (T4, 2)	10.00000	0.000000
MED_R (T4, 3)	9.600000	0.000000
MED_R (T4, 4)	11.10000	0.000000
MED_R (T4, 5)	10.10000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
EQUA_1 (T0, 1)	0.000000	-11.22105
EQUA_1 (T0, 2)	0.000000	-31.69263
EQUA_1 (T0, 3)	0.000000	-38.83579
EQUA_1 (T0, 4)	0.000000	-55.22947
EQUA_1 (T1, 1)	0.000000	-57.20000
EQUA_1 (T1, 2)	0.000000	-53.04000
EQUA_1 (T1, 3)	0.000000	-50.96000
EQUA_1 (T1, 4)	0.000000	-49.92000
EQUA_1 (T2, 1)	0.000000	-41.60000
EQUA_1 (T2, 2)	0.000000	-38.48000
EQUA_1 (T2, 3)	0.000000	-34.32000
EQUA_1 (T2, 4)	0.000000	-32.24000
EQUA_1 (T3, 1)	0.000000	-26.00000
EQUA_1 (T3, 2)	0.000000	-21.84000
EQUA_1 (T3, 3)	0.000000	-19.76000
EQUA_1 (T3, 4)	0.000000	-16.64000
EQUA_1 (T4, 1)	0.000000	-10.40000
EQUA_1 (T4, 2)	0.000000	-7.280000
EQUA_1 (T4, 3)	0.000000	-3.120000
EQUA_1 (T4, 4)	0.000000	-1.040000
EQUA_1A (T0)	0.000000	-62.40000

EQUA_1A (T1)	0.000000	-46.80000
EQUA_1A (T2)	0.000000	-31.20000
EQUA_1A (T3)	0.000000	-15.60000
EQUA_2 (T0, 1)	0.000000	-22.85581
EQUA_2 (T0, 2)	0.000000	-40.10047
EQUA_2 (T0, 3)	0.000000	-51.73395
EQUA_2 (T0, 4)	0.000000	-57.75628
EQUA_2 (T0, 5)	0.000000	-58.16744
EQUA_2 (T0, 6)	0.000000	-112.8279
EQUA_2 (T0, 7)	0.000000	-128.6214
EQUA_2 (T0, 8)	0.000000	-152.1060
EQUA_2 (T0, 9)	0.000000	-203.2353
EQUA_2 (T1, 1)	0.000000	-219.4400
EQUA_2 (T1, 2)	0.000000	-209.0400
EQUA_2 (T1, 3)	0.000000	-200.7200
EQUA_2 (T1, 4)	0.000000	-194.4800
EQUA_2 (T1, 5)	0.000000	-187.2000
EQUA_2 (T1, 6)	0.000000	-183.0400
EQUA_2 (T1, 7)	0.000000	-177.8400
EQUA_2 (T1, 8)	0.000000	-176.8000
EQUA_2 (T1, 9)	0.000000	-173.6800
EQUA_2 (T2, 1)	0.000000	-162.2400
EQUA_2 (T2, 2)	0.000000	-151.8400
EQUA_2 (T2, 3)	0.000000	-144.5600
EQUA_2 (T2, 4)	0.000000	-136.2400
EQUA_2 (T2, 5)	0.000000	-131.0400
EQUA_2 (T2, 6)	0.000000	-124.8000
EQUA_2 (T2, 7)	0.000000	-120.6400
EQUA_2 (T2, 8)	0.000000	-118.5600
EQUA_2 (T2, 9)	0.000000	-117.5200
EQUA_2 (T3, 1)	0.000000	-104.0000
EQUA_2 (T3, 2)	0.000000	-94.64000
EQUA_2 (T3, 3)	0.000000	-87.36000
EQUA_2 (T3, 4)	0.000000	-79.04000
EQUA_2 (T3, 5)	0.000000	-72.80000
EQUA_2 (T3, 6)	0.000000	-68.64000
EQUA_2 (T3, 7)	0.000000	-63.44000
EQUA_2 (T3, 8)	0.000000	-61.36000
EQUA_2 (T3, 9)	0.000000	-60.32000
EQUA_2 (T4, 1)	0.000000	-46.80000
EQUA_2 (T4, 2)	0.000000	-37.44000
EQUA_2 (T4, 3)	0.000000	-29.12000
EQUA_2 (T4, 4)	-0.9119037E-08	-22.88000
EQUA_2 (T4, 5)	0.000000	-15.60000
EQUA_2 (T4, 6)	0.000000	-10.40000
EQUA_2 (T4, 7)	0.1016555E-07	-7.280000
EQUA_2 (T4, 8)	0.000000	-3.120000
EQUA_2 (T4, 9)	0.2260308E-07	-1.040000
EQUA_2A (T0)	0.000000	-228.8000
EQUA_2A (T1)	0.000000	-171.6000
EQUA_2A (T2)	0.000000	-114.4000
EQUA_2A (T3)	0.000000	-57.20000
EQUA_3 (T0, 1)	0.000000	17.42160
EQUA_3 (T0, 2)	0.000000	4.459309
EQUA_3 (T0, 3)	0.000000	5.217391
EQUA_3 (T0, 4)	0.000000	12.26994
EQUA_3 (T0, 5)	0.000000	1000.000
EQUA_3 (T1, 1)	0.000000	15.92357
EQUA_3 (T1, 2)	0.000000	4.296455
EQUA_3 (T1, 3)	0.000000	3.333333
EQUA_3 (T1, 4)	0.000000	5.154639
EQUA_3 (T1, 5)	0.000000	3000.000
EQUA_3 (T2, 1)	0.000000	14.74926
EQUA_3 (T2, 2)	0.000000	3.275109

EQUA_3 (T2, 3)	0.000000	6.504065
EQUA_3 (T2, 4)	0.000000	9.803922
EQUA_3 (T2, 5)	0.000000	7.407407
EQUA_3 (T3, 1)	0.000000	13.40483
EQUA_3 (T3, 2)	0.000000	4.287245
EQUA_3 (T3, 3)	0.000000	3.072197
EQUA_3 (T3, 4)	0.000000	12.65823
EQUA_3 (T3, 5)	0.000000	3.861004
EQUA_3 (T4, 1)	0.000000	12.07729
EQUA_3 (T4, 2)	0.000000	3.181336
EQUA_3 (T4, 3)	0.000000	5.970149
EQUA_3 (T4, 4)	0.000000	7.067138
EQUA_3 (T4, 5)	0.000000	2.074689
EQUA_4 (T0, 1)	0.000000	38.31418
EQUA_4 (T0, 2)	0.000000	9.414226
EQUA_4 (T0, 3)	0.000000	14.57195
EQUA_4 (T0, 4)	0.000000	61.40351
EQUA_4 (T0, 5)	0.000000	6000.000
EQUA_4 (T0, 6)	0.000000	5.787037
EQUA_4 (T0, 7)	0.000000	14.92537
EQUA_4 (T0, 8)	0.000000	66.66667
EQUA_4 (T0, 9)	0.000000	2000.000
EQUA_4 (T0, 10)	0.000000	1000.000
EQUA_4 (T1, 1)	0.000000	30.50847
EQUA_4 (T1, 2)	0.000000	10.74114
EQUA_4 (T1, 3)	0.000000	13.96161
EQUA_4 (T1, 4)	0.000000	41.09589
EQUA_4 (T1, 5)	0.000000	7000.000
EQUA_4 (T1, 6)	0.000000	4.115226
EQUA_4 (T1, 7)	0.000000	11.01322
EQUA_4 (T1, 8)	0.000000	10.41667
EQUA_4 (T1, 9)	0.000000	3000.000
EQUA_4 (T1, 10)	0.000000	2000.000
EQUA_4 (T2, 1)	0.000000	28.75399
EQUA_4 (T2, 2)	0.000000	10.61571
EQUA_4 (T2, 3)	0.000000	11.18211
EQUA_4 (T2, 4)	0.000000	49.38272
EQUA_4 (T2, 5)	0.000000	40.32258
EQUA_4 (T2, 6)	0.000000	6.000000
EQUA_4 (T2, 7)	0.000000	6.042296
EQUA_4 (T2, 8)	0.000000	14.49275
EQUA_4 (T2, 9)	0.000000	22.22222
EQUA_4 (T2, 10)	0.000000	11.90476
EQUA_4 (T3, 1)	0.000000	29.41176
EQUA_4 (T3, 2)	0.000000	9.384776
EQUA_4 (T3, 3)	0.000000	11.05845
EQUA_4 (T3, 4)	0.000000	45.71429
EQUA_4 (T3, 5)	0.000000	24.59016
EQUA_4 (T3, 6)	0.000000	4.000000
EQUA_4 (T3, 7)	0.000000	5.780347
EQUA_4 (T3, 8)	0.000000	12.98701
EQUA_4 (T3, 9)	0.000000	11.90476
EQUA_4 (T3, 10)	0.000000	7.444169
EQUA_4 (T4, 1)	0.000000	26.17801
EQUA_4 (T4, 2)	0.000000	9.000000
EQUA_4 (T4, 3)	0.000000	11.56069
EQUA_4 (T4, 4)	0.000000	28.43602
EQUA_4 (T4, 5)	0.000000	24.91103
EQUA_4 (T4, 6)	0.000000	5.000000
EQUA_4 (T4, 7)	0.000000	3.359463
EQUA_4 (T4, 8)	0.000000	20.51282
EQUA_4 (T4, 9)	0.000000	16.00000
EQUA_4 (T4, 10)	0.000000	1.872659
EQUA_5 (T0)	0.000000	2.052632

EQUA_5 (T1)	0.000000	0.000000
EQUA_5 (T2)	0.000000	0.000000
EQUA_5 (T3)	0.000000	0.000000
EQUA_5 (T4)	0.000000	0.000000
EQUA_6 (T0)	0.000000	6.651163
EQUA_6 (T1)	0.000000	0.000000
EQUA_6 (T2)	0.000000	0.000000
EQUA_6 (T3)	0.000000	0.000000
EQUA_6 (T4)	0.000000	0.000000
EQUA_7 (T0)	0.000000	0.000000
EQUA_7 (T1)	26.000000	0.000000
EQUA_7 (T2)	19.000000	0.000000
EQUA_7 (T3)	6.000000	0.000000
EQUA_7 (T4)	29.000000	0.000000
EQUA_7A (T0)	74.74532	0.000000
EQUA_7A (T1)	91.14222	0.000000
EQUA_7A (T2)	82.48992	0.000000
EQUA_7A (T3)	75.49398	0.000000
EQUA_7A (T4)	93.45826	0.000000