



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

RIO DE JANEIRO- BRASIL, 08 E 09 NOVEMBRO DE 2007.

DEFINIÇÃO DE LOCAÇÃO DE MANIFOLDS SUBMARINOS MINIMIZANDO CUSTOS DE LINHAS - UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O PROBLEMA DO CENTRO DE GRAVIDADE.

Marco Arcifa

PETROBRAS/E&P-SERV/UNIDADE DE SERVIÇOS SUBMARINOS

R. Moraes e Silva, 40 10º andar, Rio de Janeiro, RJ.

arcifa@petrobras.com.br

Ladislau Israel Pereira

PETROBRAS/E&P-SERV/UNIDADE DE SERVIÇOS SUBMARINOS

R. Moraes e Silva, 40 10º andar, Rio de Janeiro, RJ.

lpereira@petrobras.com.br

Resumo

Ao realizar estudos orçamentários para a implementação do Manifold Submarino de Produção de Gás do Campo de Mexilhão, para mais de 30 variações do arranjo submarino, num cenário de incerteza de preços de linhas flexíveis (dutos flexíveis e umbilicais) percebeu-se a utilidade de localizar o manifold não apenas com critérios de Elevação e Escoamento e arquitetura de Sistemas Submarinos até agora utilizados. Definiu-se assim a Função Custo de Linhas. Propõem-se assim, um método prático e simples para sugerir a locação do manifold, minimizando a Função Custo de Linhas. Apresenta-se então, um refinamento do método anterior, onde as incertezas no custo das linhas são tratadas na geração de cenários por simulação de Monte Carlo, onde a função Custo Total, definirá não apenas um ponto de localização para o manifold, mas uma região, onde futuramente, com a abertura de propostas comerciais, o ponto do mínimo da função de Custo Total, deverá estar situado. Esse refinamento do método se torna útil a partir da premissa que os levantamentos batimétricos e ensaios geotécnicos são feitos antes da abertura das propostas comerciais das linhas e a nova mobilização/desmobilização de recursos para refazer esses levantamentos, podem inviabilizar a solução ótima na medida em que não se consiga obter esses recursos em tempo hábil para atender o cronograma do projeto, ou então pode acarretar em custos de mobilização/desmobilização que poderiam ser evitados com uma pequena extensão da região estudada preliminarmente. Essa abordagem é complementar a utilização do Centro de Gravidade para estratégias de localização em sistemas logísticos.

Abstract

Considering the current scenario of pipeline installation cost to develop a subsea gas production system with more than 30 subsea field layout it was identified the importance of the manifold location be defined not only based on flow assurance or other current project criteria.

For this field development a methodology to optimize the manifolds position was defined considering a cost of pipeline function. In a further development a Monte Carlo simulation was used to define a range of locations to allow the relocation of the manifolds based on the actual price achieved on the bids. The location range definition also helped to better define the screening area for geotechnical sampling and batimetric studies. In the past some optimizations could not be implemented because of the lack of the time to get new geotechnical and batimetric data to allow relocation of the manifold.

The method is based on the Center of Gravity method used in strategic location for logistical systems

Key Words: Center of Gravity, Subsea Manifold, Monte Carlo Simulation.

1. INTRODUÇÃO

Propomos nesse trabalho, um método que auxilia na locação de Manifolds Submarinos, minimizando o custo de linhas, ou caso não seja possível, minorar os custos de linhas, conjuntamente com critérios de elevação e escoamento. Até o presente momento, a prática comum era apenas considerar aspectos de elevação e escoamento. Como as linhas submarinas (umbilicais, dutos flexíveis e dutos rígidos) se tornaram recursos críticos pela elevada demanda por esses itens conjuntamente com capacidade fabril insuficiente para atender essa demanda no pequeno e médio prazo.

2. HISTÓRICO

Foi possível a criação desse método, graças ao acompanhamento da evolução do projeto conceitual do Campo de Mexilhão na Bacia de Santos. Num espaço de dois anos considerou-se muitas opções para produção desse campo. Num primeiro momento considerou-se 3 opções diferentes: jaqueta a 20 km do campo, FPSO sobre o campo ou o conceito inovador de Subsea to Shore. Uma vez feita a opção pela Jaqueta ainda considerou-se vários tipos e configurações de manifold, atendendo a modificação constante do número de poços e suas locações. Normalmente o arranjo submarino é feito após a definição da locação e número de poços a ser considerado. A característica de “fast-track” desse projeto modificou essa forma de trabalho, o que acabou possibilitando intuir e criar esse método. O método também evoluiu, no principio consistia na aproximação direta do manifold, primeiramente locado no centro geométrico dos poços, à plataforma, que representava uma aproximação direta pela parcela da *FCL* (equação (1)) que dava maior contribuição para o gradiente, o que era uma heurística, e não necessariamente o caminho do maior gradiente, como veremos a seguir. Durante a evolução histórica do método foi interessante constatar que a solução comumente utilizada de centro de distribuição logística, conceito que poderia ser utilizado para locação do manifold, como centro geométrico de um determinado número de pontos para distribuição não é uma solução exata e apenas uma heurística, e apresenta grandes erros quando algum ponto está muito distante dos outros. No passado foi feito um sistema especialista que fornecia uma solução ótima com relação a custo de linhas. Esse sistema foi abandonado talvez porque oferecia a solução final e se ela não fosse possível, o projetista não tinha como aproveitar ou interagir com sistema. Nesse método tomamos o cuidado de ver qual a realidade do projetista, permitir que ele tome suas decisões de projeto, apresentando-lhe ferramentas de fácil difusão, que o auxilie nesse processo, minorando custos.

3. MODELO FÍSICO

O método foi criado a partir de condições físicas especialmente favoráveis: pequena declividade no solo marinho (<2%), ausência de obstáculos naturais no fundo do mar, escoamento ascendente (evitando golfadas), ausência de outras instalações submarinas e restrições no fundo do mar. O desenvolvimento do método, porém, possibilita a sua aplicação em quaisquer condições, graças a generalização dos conceitos originais, como

veremos. Dessa forma podemos adotar como premissas básicas para posterior formulação matemática:

- Todas as linhas tem o comprimento dos segmentos de reta que interligam o manifold a plataforma. Existe um overlenght para linhas flexíveis, apenas dependentes da lâmina d'água e portanto "invariáveis" para quaisquer configurações adotadas e portanto não otimizáveis.
- Apenas as coordenadas x, y no plano foram consideradas. Apesar da profundidade variar e isso influir no comprimento de linha para a interligação, o modelamento da terceira dimensão requereria ferramenta de cálculo mais elaboradas (apenas planilha excel foi utilizada).

O projetista, uma vez que compreenda essas premissas, mesmo com premissas não ideais, tem no resultado apresentado um guia para minimização do custo de linhas, continuando válido o método, não como uma solução ótima exata, mas como uma heurística criada a partir de uma solução exata. Na aplicação prática, os poços ou plataforma, podem ser representados por pontos por onde as linhas "tem" que passar necessariamente, ao por exemplo, contornar um obstáculo, ou evitar o cruzamento de outras linhas preexistentes.

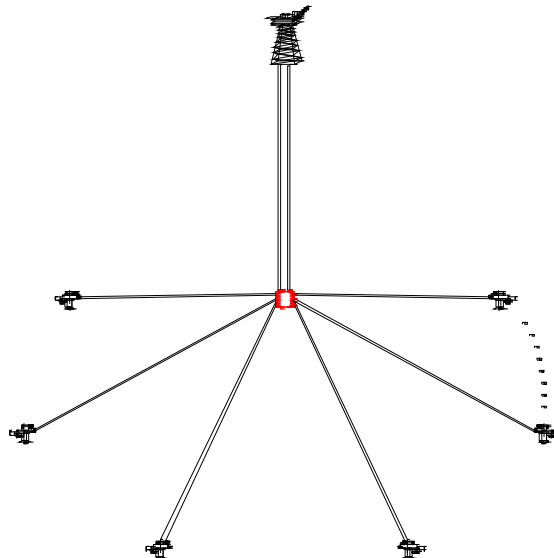


Fig.1-Modelo Físico Ideal.

4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Segundo o Modelo Físico proposto, temos que o custo total de linhas que são passíveis de otimização é:

$$FCL = KM \cdot \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} + KP \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \dots\dots\dots(1)$$

Realizamos a seguir uma análise da FCL.

Considera-se as derivadas parciais da Função:

Na direção x:

$$\frac{\partial}{\partial x}(FCL) = KM \cdot \frac{(x - x_j)}{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}} + KP \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(x - x_i)}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}} \dots\dots\dots(2)$$

Na direção y:

$$\frac{\partial}{\partial y}(FCL) = KM \cdot \frac{(y - y_j)}{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}} + KP \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(y - y_i)}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}} \dots\dots\dots(3)$$

Constituintes do vetor gradiente da Função:

$$\nabla(FCL) = \frac{\partial}{\partial x}(FCL) \cdot \rho_i + \frac{\partial}{\partial y}(FCL) \cdot \rho_j \dots\dots\dots(4)$$

Propondo a seguinte parametrização em α , β_i , ρ_j , ρ_i :

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{(x - x_j)}{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{sen}(\beta_i) = \frac{(x - x_i)}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{cos}(\alpha) = \frac{(y - y_j)}{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}} \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{cos}(\beta_i) = \frac{(y - y_i)}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}} \dots\dots\dots(8)$$

$$\rho_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} \dots\dots\dots(9)$$

$$\rho_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \dots\dots\dots(10)$$

Podemos reescrever o gradiente:

$$\nabla(FCL) = \left[KM \cdot \text{sen}(\alpha) + KP \cdot \sum_{i=1}^n \text{sen}(\beta_i) \right] \cdot \rho_i + \left[KM \cdot \text{cos}(\alpha) + KP \cdot \sum_{i=1}^n \text{cos}(\beta_i) \right] \cdot \rho_j \dots\dots\dots(11)$$

Considerando, agora, a seguinte formulação para o cálculo do Hesseano da função *FCL*:

$$A = \frac{\partial^2}{\partial x^2}(FCL) = KM \cdot \left\{ \frac{1}{\left[(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{(x-x_j)^2}{2 \cdot \left[(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\} + KP \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{\left[(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{(x-x_i)^2}{2 \cdot \left[(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

$$B = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(FCL) = KM \cdot \left\{ -\frac{(x-x_j) \cdot (y-y_j)}{2 \cdot \left[(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\} + KP \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ -\frac{(x-x_i) \cdot (y-y_i)}{2 \cdot \left[(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

$$C = \frac{\partial^2}{\partial y^2}(FCL) = KM \cdot \left[\frac{1}{\left[(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{(y-y_j)^2}{\left[(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] + KP \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{\left[(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{(y-y_i)^2}{\left[(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] \dots\dots\dots(14)$$

Com as equações de (5) a (10) reescrevemos *A, B, C*:

$$A = \frac{\partial^2(FCL)}{\partial x^2} = KM \cdot \frac{(1 + \text{sen}^2(\alpha))}{\rho_j} + KP \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(1 + \text{sen}^2(\beta_i))}{\rho_i} \dots\dots\dots(15)$$

$$B = \frac{\partial^2(FCL)}{\partial x \partial y} = -KM \cdot \frac{(\text{sen}(2\alpha))}{4\rho_j} - KP \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\text{sen}(2\beta_i)}{4\rho_i} \dots\dots\dots(16)$$

$$C = \frac{\partial^2(FCL)}{\partial y^2} = \frac{KM \cdot (1 + \cos^2(\alpha))}{\rho_j} + KP \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(1 + \cos^2(\beta_i))}{\rho_i} \dots\dots\dots(17)$$

Assim o Hesseano para um ponto genérico x,y:

$$H(FCL) = \begin{bmatrix} A & B \\ B & C \end{bmatrix} \dots\dots\dots(18)$$

Tem como determinante:

$$\Delta = \det[H(FCL)] = \begin{vmatrix} A & B \\ B & C \end{vmatrix} = A \cdot C - B^2 \dots\dots\dots(19)$$

Observando os termos A,B e C escritos em coordenadas polares podemos notar que:

- A,C são sempre positivos
- Tanto módulo de A como o módulo de C são sempre maiores que B, por uma comparação termo a termo.

A será sempre positivo, e Δ também. Assim segundo Apostol (Apostol, T.A. 1969) qualquer ponto que tomemos da função FCL, este ponto apenas é candidato a ser ponto de mínimo. Dentre apenas pontos de mínimo possíveis teremos apenas um ponto de mínimo absoluto, xmin, ymin com um valor de FCL = VMIN.

$$\nabla(FCL) = \vec{0} \dots\dots\dots(20)$$

para um único ponto de mínimo, xmin, ymin.

Assim :

$$\left[KM \cdot \text{sen}(\alpha) + KP \cdot \sum_{i=1}^n \text{sen}(\beta_i) \right] = 0 \dots\dots\dots(21)$$

$$\text{sen}(\alpha) = -\frac{KP}{KM} \cdot \sum_{i=1}^n \text{sen}(\beta_i) \dots\dots\dots(22)$$

$$\left[KM \cdot \cos(\alpha) + KP \cdot \sum_{i=1}^n \cos(\beta_i) \right] = 0 \dots\dots\dots(23)$$

$$\cos(\alpha) = -\frac{KP}{KM} \cdot \sum_{i=1}^n \cos(\beta_i) \dots\dots\dots(24)$$

representa a configuração que admite o valor mínimo V_{MIN} em x_{min} y_{min} para a FCL . Essa configuração, observando a última e antepenúltima equações acima sugere que a locação do manifold deve situar a plataforma e os poços predominantemente em quadrantes opostos, e ainda quanto maior KM em relação a KP , maior em módulo e de sinal oposto a soma dos senos e cossenos de β_i . Isso sugere que a configuração, normalmente intuída em forma de “aranha” não minimiza o custo das linhas, e sim uma configuração tipo “delta de rio”, solução comumente encontrada na natureza, quando há divisão do escoamento nos rios. Nessa abordagem V_{MIN} em x_{min} , y_{min} , corresponde a formulação análoga para determinação do “Centro de Gravidade” do sistema de transportes, conforme, por exemplo enunciada em Ballou (Ballou, R.H.,2006), por isso queremos com esse trabalho também contribuir para a aplicação desse conceito.

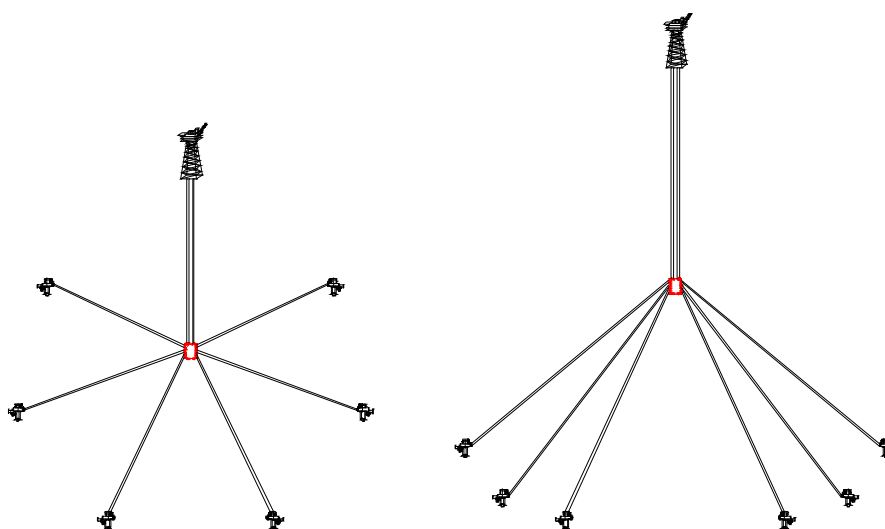


Fig.2 – Configuração Tipo “Aranha” e “Delta de Rio”

A partir do ponto de mínimo V_{MIN} vamos tomar as curvas de nível da FCL , doravante apelidadas de “isoprecimétricas” (em analogia às isobatimétricas, familiares aos projetistas de arranjos submarinos) segundo valores arbitrariamente inteiros e igualmente espaçados ($V_{MIN}+\delta_k$):

$$FCL=(V_{MIN}+\delta_k) \text{ para } k= 1,2,3.....(25)$$

k pode aumentar até um valor que represente um espaço de estudo de interesse, segundo geralmente, critérios de Elevação e Escoamento. Na prática fizemos uma malha de 25x25m no leito marinho, do comprimento e larguras do máximo aproximado de uma linha poço-manifold, segundo uma dada condição necessária de elevação e escoamento (por exemplo:isolamento térmico requerido). O ponto x_{min} , y_{min} é a coordenada do menor valor encontrado nesta malha. Quando a solução x_{min} , y_{min} não pode ser adotada, por questões de Elevação e Escoamento, ou outras restrições uma nova solução deve ser procurada dentro da menor envoltória possível das “isoprecimétricas”. Heurística mais adequada à presença de restrições que são reais, que torna o método de aplicação geral, apesar de utilizar um modelo físico ideal.

5. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES *KM* E *KP*.

KM, coeficiente do custo de linha por metro que interliga *Manifold* a plataforma, consiste na somatória do custo das linhas individuais por metro. No modelo considerado todas essas linhas são ligadas a mesma plataforma e tem o mesmo comprimento. As linhas flexíveis tem um overlenght calculado para cada LDA (Lâmina D'Água), que não são computados no modelo, por que são invariáveis com o range de Lâmina d'água (LDA) considerado.

KP, coeficiente do custo de linha por metro que interligam os *Poços* ao manifold. Consiste na somatória do custo das linhas individuais por metro. No modelo considerado todas essas linhas são ligadas a mesma plataforma e tem o mesmo comprimento.

De forma genérica:

$$KM = \sum_{j=1}^m KLM_j \dots\dots\dots(26)$$

$$KP = \sum_{i=1}^o KLP_i \dots\dots\dots(27)$$

Os valores *KLM_j* e *KLP_j* podem ser variáveis aleatórias representadas por distribuições de probabilidade, caso ainda não tenhamos preços firmes após abertura de propostas comerciais. Com todos os custos sejam firmes, a determinação de *KM* e *KP* são triviais. Caso um ou mais *KLM_j* e/ou *KLP_j* ainda não sejam firmes, teremos soma de distribuições de probabilidade nas equações (26) e (27). Dependendo do tipo de distribuição pode ser feita de forma analítica pelo método dos momentos, ou de forma “experimental” por simulação de Monte Carlo. Preferimos essa última técnica porque admite a soma de quaisquer tipos de distribuição, ou uma combinação de preços firmes e distribuições. Utilizamos o pacote feito por Paes (Paes,J.C.2003), para fazer a soma dos valores. Como a solução ótima como apresentada em (22) e (24) depende apenas da razão *KP/KM*, na experimentação por Monte Carlo, simulamos apenas o inverso dessa razão.

Hullet (Hullet,D.2006) sugere que essas distribuições podem ser levantadas a partir da coleta de dados históricos ou a partir de entrevistas com especialistas inquirindo pelo valor mais provável, otimista e pessimista, criando com esses valores uma distribuição triangular.

6. RECURSOS UTILIZADOS

Primamos por utilizar os recursos comuns na rotina dos projetistas de arranjo submarino como o Excel, e um suplemento gratuito do Excel, simkit.xla, criado por Paes (Paes,J.C.2003), anexado no Apêndice A, que não depende de privilégio de administrador de rede para instalação. As curvas “isoprecimétricas” podem ser incorporadas diretamente no Cad de trabalho dos projetistas, no caso o Microestation. Utilizamos esses recursos conhecidos primeiramente porque o conhecimento dos recursos por parte dos projetistas facilita e até aumenta muito as chances de viabilização do efetivo emprego do método, em

segundo lugar, porque nesse ambiente, diferentemente de um ambiente de pesquisa não são de fácil obtenção recursos como Mathcad, @Risk, para todos os projetistas.

7. APRESENTAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS

O produto final da método ora apresentado são principalmente as curvas “isoprecimétricas” e o ponto x_{min} , y_{min} em percentis P10%,P50%,P90%, no exemplo:

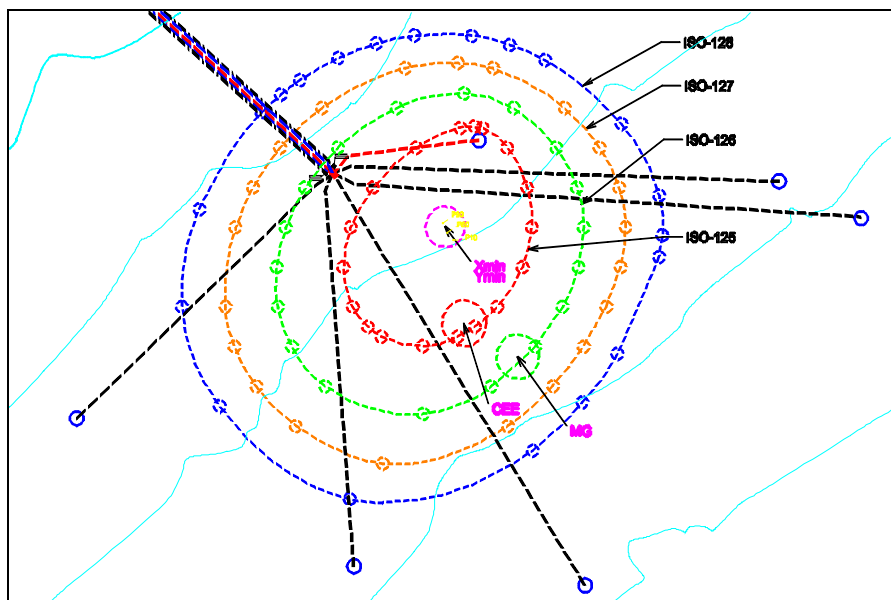


Fig. 3 – Curvas “Isoprecimétricas”.

Os três arquivos com todos os dados e cálculos para a determinação dessas curvas bem como o desenho completo foram omitidos nesse trabalho, por questões de segurança da informação para que fossem publicados fora do ambiente Petrobras. Para se ter uma idéia das economias alcançadas, o espaçamento entre as curvas “isoprecimétricas” acima é de US\$ 1 milhão.

Em uma dessas planilhas apresentamos a simulação da soma KM (26) e KP (27) bem como a razão KM/KP da solução mínima. A plotagem dos valores x_{min} , y_{min} correspondentes às razões em P10, P50, P90, sugere o range de incerteza para locação do manifold, e portanto também para o estudo da Função FCL (1) em outra planilha, onde, segundo range estabelecido, fornecemos os pontos para a plotagem das curvas isoprecimétricas (25) no arranjo submarino. Neste último arquivo temos as curvas usadas para locação final do manifold, produto final do nosso trabalho..

8. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS

Os valores x_{min} , y_{min} em P10%,P50% e P90% podem variar num range de aproximadamente 100 m para o atual conhecimento dos preços. Isso indica que podemos colocar esse range nas RMs (Requisições de Material) das linhas bem como considerar esse mesmo range na coleta de dados geotécnicos, geodésicos e geológicos para assentamento do manifold e dos dutos. Incorre-se num custo maior (fora do escopo das FCL) ao estudar o range, porém evita-se ter que fazer nova campanha de tomada de dados, com elevado novo

preço de mobilização e desmobilização de embarcação. No exemplo dado, o ponto x_{min} , y_{min} , em comparação com um critério de elevação e escoamento (no caso local o manifold no ponto médio entre os dois poços mais distantes) possibilita uma economia em torno de, aproximadamente 0,5% do valor total do custo de linhas. No mesmo exemplo, x_{min} , y_{min} em comparação com a locação calculada como a média simples das coordenadas dos poços, método freqüentemente usado como heurística para solução desse problema, incorre numa economia de 1,5% do valor total do custo de linhas. A decisão final da locação do manifold, entretanto cabe ao projetista, que o locou na isobatimétrica do poço mais raso, porém respeitando o critério de locá-lo o mais próximo possível da “isoprecimétrica” mais econômica.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

O método possibilita um critério de minimização para os custos de linha combinado com condições de elevação e escoamento desejados pelos projetistas e engenheiros que fazem a simulação do escoamento. Portanto o método é de aplicação geral, respeitando os critérios de projeto de outras disciplinas que não a contabilidade de custos. Notadamente no projeto conceitual de futuros arranjos submarinos com manifolds, a possibilidade de economia é grande.

O método, com algumas modificações pode se estender para locação de plataformas, e a economia seria de uma ou duas ordens de grandeza maior.

O tipo de cooperação entre diversas áreas num setor de coordenação de projetos favorece a criação de métodos que otimizam o todo, e não apenas as partes. Um exemplo concreto dessa afirmação se verifica ao constatarmos que uma gerencia funcional técnica geralmente não tem acesso ou analisa o custo das linhas, enquanto a visão de uma matriz projetizada possibilita o acesso a todas as áreas.

No desenvolvimento do método atentamos para a possibilidade de economias muito maiores se o método, ou variação dele, se estendesse a definição da locação das cabeças de poço, a partir de uma análise do reservatório, bem como tipo dos poços. No estudo essa locação era um dado, mas percebemos que variação freqüente dessas locações talvez pudesse ser alvo de otimizações relevantes. Fica a sugestão da integração da coordenação de poços e engenharia submarina nesse esforço.

10. NOMENCLATURA

KM	\sum custos por metro das linhas que interligam o <i>Manifold</i> a plataforma.
KLM_j	custo por metro de cada <i>Linha</i> individual que interliga <i>Manifold</i> à plataforma.
m	número de linhas que interligam manifold à plataforma.
KP	\sum custos por metro das linhas que interligam <i>Poços</i> ao manifold.
KLP_j	custo por metro de cada <i>Linha</i> individual que interliga <i>Poço</i> ao manifold.
o	número de linhas que interligam cada poço ao manifold.
FCL	<i>Função Custo de Linha</i> , conformemodelo físico.
$VMIN$	Valor <i>Mínimo</i> para a função FCL , <i>Centro de Gravidade</i>

x, y	coordenadas UTM genéricas, usadas para o manifold.
x_{\min}, y_{\min}	coordenadas do manifold relativas ao V_{MIN} .
x_j, y_j	coordenadas UTM da plataforma, constantes.
ρ_j	distância do manifold à plataforma.
α	ângulo formado entre o eixo x e a reta que interliga o manifold à plataforma.
x_i, y_i	coordenadas UTM do poço i , constantes.
ρ_i	distância do manifold ao poço i .
β_i	ângulo formado entre o eixo x e a reta que interliga o manifold ao poço i .
n	número total de poços.

11. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CC José Corrêa Paes Filho pela cessão do Suplemento para Excel Simkit, que utilizamos na avaliação da incerteza dos custos.

Agradecemos ao Prof. Dr. Luiz Flávio Autran M. Gomes pela sugestão no encaminhamento da formulação matemática desenvolvida.

Agradecemos aos nossos colegas da US-SUB/Coordenadorias pelo incentivo e apoio recebidos para realizarmos nosso trabalho, em especial ao eng. Marcus Tadeu Rodrigues de Paula, coordenador para o projeto de Mexilhão, para quem temos tido a satisfação de trabalhar nesses dois últimos anos.

Agradecemos aos colegas da UN-RIO/ST/EE engs. Edson Luiz Labanca, Ivan Noville, André Athayde, e projetista Celso Noronha por todo o suporte na disciplina de elevação e escoamento para o projeto, bem como operação e projeto de manifolds submarinos.

Agradecemos aos colegas da US-SUB/ISBM, engs. Hélio Ferreira da Silva e Carlos Sérgio Guimarães, projetistas Janaina Aparecida Beira Staford e Carla Giovana, pela prestímosa solicitude na confecção dos arranjos submarinos para o projeto.

Agradecemos ao eng. Carlos Costa Escudero, da US-SUB/ISBM por toda orientação e esclarecimento técnico sobre linhas flexíveis e rígidas, alvo de otimização nesse trabalho.

Agradecemos, ao eng. Cláudio César de Araújo, gerente da US/SUB ISBM, por todo apoio na implementação efetiva do método

Agradecemos ao eng. Hélio Francer de Moraes, da US-SUB/PCC pioneiro na otimização de arranjos submarinos, cujo trabalho inspirou a criação desse método.

Na memória de nossos amigos engs. Carlos Araken Bonifácio Coelho e Paulo Ricardo Ferreira Pessoa, que nos fazem lembrar dos valores perenes que temos que cultivar no desempenho de nosso trabalho profissional.

12.REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Apostol, T.A. Calculus, vol II. 2nd edition. New York, Wiley & Sons, 1969.
2. Paes, J. Santos, R.C.E. Simkit: Suplemento de simulação de Monte Carlo para Excel. Rio de Janeiro, Anais do VI Simpósio de Pesquisa operacional da Marinha, SPOLM 2003.
3. Hullet, D. Project Risk Analysis and Managment. Rio de Janeiro, Apostila de Curso ministrado à Universidade Petrobras, 2005.
4. Ballou, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial. 5.ed. Porto Alegre, Bookman, 2006.