

CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROBLEMA DO AGENDAMENTO DE SONDAS DE MANUTENÇÃO “ONSHORE” E PROPOSIÇÃO DE INSTÂNCIAS

Werner Kleyson da Silva Soares

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife-PE – CEP: 50670-901

werner_soares@hotmail.com

Ana Paula Cabral Seixas Costa

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife-PE – CEP: 50670-901

apcabral@ufpe.br

Dario José Aloise

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

BR 110, km 46, Costa e Silva - Campus Universitário, Mossoró-RN – CEP: 59600-970

darioaloise@uern.br, aloisedj@gmail.com

RESUMO

Quando problemas em poços de petróleo onshore causam indisponibilidade, sondas de manutenção são usadas para corrigi-los. O Problema do Agendamento de Sondas de Manutenção Onshore trata da definição da melhor configuração na atribuição dessas sondas aos poços indisponíveis ao longo do tempo. Esse problema possui características de roteamento de veículos e de agendamento (scheduling). Neste trabalho, tecemos algumas considerações sobre o modelo do problema e propomos novas instâncias considerando tipos diferentes de sondas e as distâncias de deslocamento entre os poços. Para a construção dessas instâncias, utilizamos as instâncias consagradas do Roteamento de Veículos com Frota Heterogênea e as instâncias específicas para o problema já usadas por vários autores para o problema em questão.

PALAVRAS CHAVE. Sondas de manutenção. Agendamento. Novas instâncias. Otimização Combinatória

ABSTRACT

When problems in onshore oil wells cause idleness, workover rigs are used to fix them. The Problem of Schedule Onshore Workover Rigs deals with the definition of the best settings in the allocation of these rigs to the idle wells over time. This problem has characteristics of vehicle routing and scheduling. In this paper, we do some considerations about the model of the problem and propose new instances considering different types of rigs and the distances between wells. For the construction of these instances, we use dedicated instances of the Vehicle Routing with Heterogeneous Fleet and the specific to the problem instances already used by several authors.

KEYWORDS. Workover rigs. Scheduling. New instances. Combinatorial Optimization

1. Introdução

Segundo a Associação Brasileira de Produtores Independentes de Petróleo e Gás, a exploração de petróleo, historicamente, é dividida em três fases principais: “Fase Terra”, “Fase Águas Rasas” e o período atual, chamado de “Fase Águas Profundas e Ultra Profundas” (Caetano e Maurício, 2011). No período chamado de “Fase Terra”, a produção “onshore” era 100%. No Brasil, a produção de petróleo “onshore” corresponde hoje a cerca de 10% da produção nacional. Essa foi uma tendência natural, uma vez que o aumento do preço do barril viabilizou a produção “offshore”. Apesar de percentualmente ter diminuído, a produção “onshore” permanece quase constante desde 1982, fim do período intermediário chamado de “Fase Águas Rasas”, e a média desse tipo de produção na fase atual é superior a das duas fases anteriores, demonstrando que esse tipo de exploração não está perdendo importância.

Quando problemas em poços de petróleo “onshore” causam indisponibilidade, sondas de manutenção terrestres são usadas para corrigi-los (Hyne 1991). Essas indisponibilidades acontecem devido a esses poços necessitarem de métodos de elevação artificial onde serviços de manutenção como limpeza, reintegração, estimulação e outros, são essenciais (DJ Aloise *et al.* 2006).

O Problema do Agendamento de Sondas de Manutenção “Onshore” trata da definição, ao longo do tempo, da melhor configuração na atribuição dessas sondas aos poços indisponíveis Aloise *et al.* (2006). Esse problema possui características de roteamento de veículos, se considerarmos os veículos sendo roteados ao longo do espaço físico, e de “scheduling”, se considerarmos o sequenciamento das atividades de manutenção.

O mesmo já foi abordado por vários trabalhos na literatura, mas em sua maioria consideraram as sondas como homogêneas e/ou desconsideraram as distâncias. Na sua versão com frota heterogênea, cada sonda tem um nível de serviço que representa a capacidade máxima em que esta pode executar um serviço. Sendo assim, sondas de níveis mais altos executam todo o serviço das sondas de níveis mais baixos.

Neste trabalho são feitas considerações de aplicação de frota heterogênea de sondas, consideração das distâncias entre os poços e propõem-se instâncias criadas a partir de outras existentes na literatura que englobam essas características, peculiares a campos de petróleo “onshore”.

Este artigo está organizado da seguinte forma: Na seção 2 apresenta-se um breve relato sobre alguns dos trabalhos publicados abordando o problema em questão; Na seção 3, tecemos considerações sobre algumas características importantes do problema determinístico e discutimos a sua formulação; Na seção 4 mostramos como construímos as instâncias que estão sendo propostas; Na seção 5 apresentamos resultados computacionais obtidos com uma heurística construtiva simples para demonstrar o uso das instâncias; Por fim, na seção 6 tem-se as conclusões.

2. Revisão da literatura

Comparado a outros problemas da área de Otimização Combinatória, o problema do agendamento das sondas é pouco abordado, apesar da sua relevância prática. Dentre os últimos trabalhos publicados com o tema, temos o de Aloise *et al.* (2006). Os autores apresentaram sua formulação para o problema considerando um número limitado de sondas de tipos diferentes para um horizonte de planejamento de 15 dias. O trabalho é também um dos que consideram os deslocamentos das sondas em sua formulação. Aplicaram um método de VNS (“Variable Neighborhood Search”) a 8 instâncias reais e obtiveram uma melhora média de 16,4% na perda de produção quando comparado ao computado pela PETROBRAS para as mesmas instâncias.

Glaydston *et al.* (2011) apresentaram uma revisão bibliográfica consideravelmente extensa e bastante completa sobre o problema. Sua formulação segue basicamente as mesmas premissas do visto em Aloise *et al.* (2006) com a diferença de usar janelas de tempo. Além disso, não aborda se foram usadas sondas de mesmo tipo ou de tipo diferente. As instâncias usadas foram as propostas por Costa e Filho (2004).

Paiva (1997) e Paiva *et al.* (2000) abordaram o problema com uma ou mais sondas para servir muitos campos de petróleo (nestes estudos, os autores enfatizam o cálculo da perda de vazão através de simulações de reservatório).

Costa (2005) e Costa e Filho (2004, 2005) apresentaram uma formulação matemática, uma “Dynamic Assembly heuristic” e um GRASP para o problema do agendamento de sondas de manutenção com janelas de tempo. Apresentaram instâncias baseadas em casos reais de um campo de petróleo localizado no sudeste do Brasil. Os autores optaram por construir essas instâncias sem incluir a distância entre os poços. Fizeram essa simplificação por considerarem que os poços estavam próximos o bastante uns dos outros (citam uma distância média menor que 20 km). Essas instâncias foram utilizadas por vários autores em trabalhos posteriores.

A maior parte dos trabalhos considera a frota como homogênea e também desconsidera a distância entre os poços necessitando de manutenção. A seguir vamos avaliar algumas consequências dessas considerações.

3. Problema do Agendamento de Sondas de Manutenção “Onshore”

O Problema do Agendamento de Sondas de Manutenção “Onshore” possui características de problemas de roteamento de veículos e de problemas de agendamento (*scheduling*).

Apesar das semelhanças com problema de roteamento de veículos, o peso que a perda de produção tem no problema das sondas de manutenção o torna mais parecido com um problema de agendamento do tipo *open-shop* com função objetivo de minimização do atraso total e com os tempos de deslocamento sendo o equivalente aos tempos de *setup* de uma máquina para outra. Como abordado por Beck, Prosser e Selensky (2002) problemas de roteamento podem ser tratados como problemas de agendamento e vice-versa, mas o desempenho do método do problema oposto tende a ser pior.

A seguir, fazemos alguns comentários relativos a características do problema que às vezes são consideradas e às vezes não, nos modelos determinísticos dos autores de trabalhos sobre o tema.

Frota Homogênea versus Frota Heterogênea

A maioria dos trabalhos na área trata das sondas como homogêneas, mas isso é uma simplificação que pode transformar o problema em algo não aplicável a realidade, já que existem vários tipos de sondas de manutenção diferentes, variando de acordo com a capacidade de operação.

Como pode ser visto nos catálogos de empresas fornecedoras pode-se inferir que as sondas de níveis maiores são capazes de realizar todos os serviços das de níveis menores, já que todos os dados apresentados para as sondas maiores apontam para uma capacidade igual ou maior que a imediatamente anterior para todos os itens, logo, essa é uma boa consideração para as sondas teóricas do problema. Por exemplo, num dos catálogos, as sondas variam de acordo com a profundidade, de 2.590 a 8.839 metros no caso do “Tubing”, e outros fatores. Só essa diferença de profundidade de trabalho para o “Tubing” basta para demonstrar que o preço de uma sonda de nível mais alto certamente é bem maior que as de níveis mais baixos e que essas diferenças devem se justificar pela necessidade dos poços. Se não fosse dessa forma, bastaria que as empresas, tanto as que constroem sondas quanto as que utilizam, investissem sempre em um tipo de sonda de nível “máximo”, capaz de atender a qualquer poço.

A Figura 1 mostra a diferença entre considerar as sondas como heterogêneas e como homogêneas. No caso do exemplo da figura da esquerda, a sonda de nível 3 tem capacidade de atender qualquer poço (representados pelos pontos) mas as de níveis mais baixos estão restritas a subconjuntos aninhados do espaço de busca, onde uma sonda de nível mais alto sempre atende a tudo que a de uma de nível mais baixo em capacidade. Na direita temos o caso das sondas homogêneas, que pode ser considerado como um caso particular das sondas heterogêneas onde o nível de qualquer uma das sondas é maior ou igual à necessidade de manutenção de qualquer um dos poços.

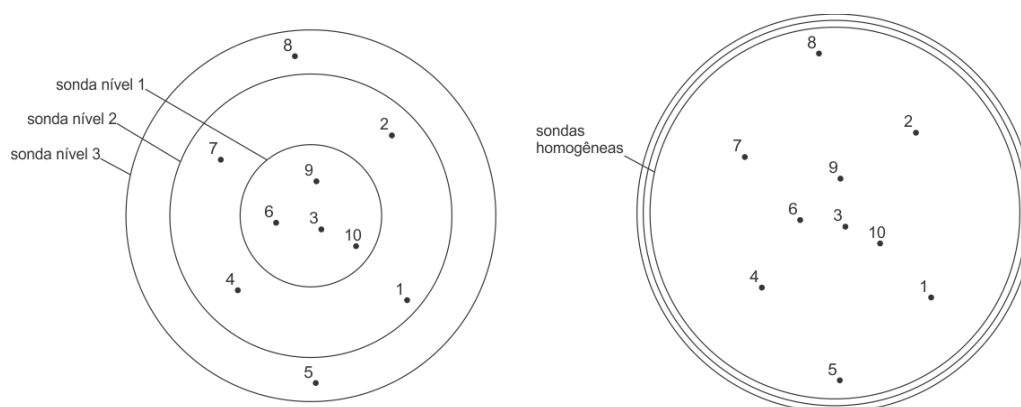


Figura 1 - comparação entre sondas heterogêneas e homogêneas por gráficos representativos de conjuntos e subconjuntos

Tendo isso em mente, considerar a frota como homogênea só pode acontecer caso o nível da sonda menos capaz seja suficiente para atender ao serviço de maior nível do problema. Ou seja, sendo l o nível de serviço necessário em um poço e q o nível de serviço suportado pela sonda, temos a seguinte restrição:

$$l_{\max} \leq q_{\min}, \quad (1)$$

Na prática, resolver um problema de sondas como se a frota fosse homogênea sem considerar essa restrição pode resultar em uma solução infactível, com sondas atribuídas a poços que essas não podem atender. E mesmo considerando a restrição, devemos levar em conta que ainda teremos uma solução mais dispendiosa que o necessário.

Considerar versus Não Considerar as Distâncias entre os Poços

Por se tratar de um problema com fortes características de “scheduling”, boa parte dos trabalhos realizados na área também desconsidera as distâncias entre os poços na sua formulação. Essa simplificação também pode provocar erros que simplesmente impossibilitam o uso da agenda que acaba de ser preparada, principalmente quando é levado em consideração as 12 mph (19,2 km/h) de velocidade de deslocamento das sondas, como citado por Aloise *et al.* (2006).

Tabela 1 - Tabela com o erro acumulado para um agendamento de sondas sem considerar o deslocamento, em dias

distância (km)	50	100	125	200	500
1	0,108507	0,217014	0,271267	0,434028	1,085069
5	0,542535	1,085069	1,356337	2,170139	5,425347
10	1,085069	2,170139	2,712674	4,340278	10,85069
15	1,627604	3,255208	4,06901	6,510417	16,27604
20	2,170139	4,340278	5,425347	8,680556	21,70139
25	2,712674	5,425347	6,781684	10,85069	27,12674
30	3,255208	6,510417	8,138021	13,02083	32,55208
35	3,797743	7,595486	9,494358	15,19097	37,97743
40	4,340278	8,680556	10,85069	17,36111	43,40278
45	4,882813	9,765625	12,20703	19,53125	48,82813
50	5,425347	10,85069	13,56337	21,70139	54,25347

Como se pode ver na Tabela 1, quando a carteira de poços aumenta a desconsideração dos deslocamentos na elaboração da agenda pode provocar uma diferença tal que poderíamos precisar de uma sonda a mais em relação ao que foi calculado.

Em **negrito** está marcado o total de tempo acumulado com deslocamento caso os poços estejam 20 km distantes uns dos outros. Como se pode observar, para 50 poços a diferença já dá mais de dois dias e para 500 poços chega a mais de vinte. Alguns trabalhos desconsideraram as distâncias por trabalharem com poços distantes 20 km em média uns dos outros. Se levarmos em conta um horizonte de planejamento de 15 dias, isso já indicaria a necessidade de usar uma sonda extra.

Considerações relativas à Função Objetivo

É comum para este problema se usar a produção média do poço no cálculo da perda de produção durante a indisponibilidade, mas isso também pode se tornar uma simplificação que levará a erros que podem não ser ignoráveis.

Segundo Paiva (1997), quando um poço se torna indisponível, começa a acumular pressão. Essa pressão pode ser canalizada para poços vizinhos ou pode ser revertida em aumento da produção quando o poço voltar a se tornar disponível. Ainda segundo o mesmo autor, essa perda de produção real poderia ser menor que 10% da perda que aparentemente esteja acontecendo. Na Figura 2, mostramos uma ilustração para demonstrar, grosso modo, o que acontece para o caso de um único poço no reservatório.

Exemplo 1

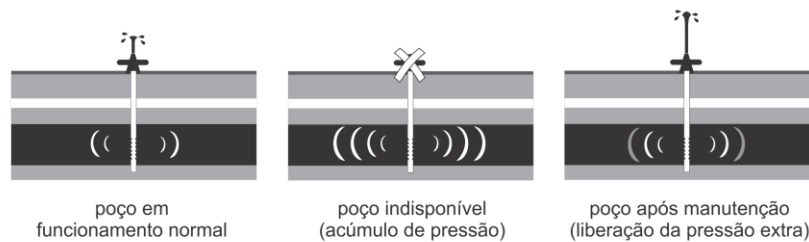


Figura 2 - acúmulo de pressão

Nesse caso o poço, ao ficar indisponível, passa a acumular uma pressão suplementar a existente. Ao voltar a funcionar, essa pressão forçará um fluxo mais intenso de petróleo fazendo com que, ao longo do tempo, a perda seja menor do que aparentava inicialmente. Uma análise do fenômeno aplicada ao roteamento de sondas foi realizada por Paiva (1997) e Paiva et al (2000). Na Figura 3 podemos observar dois dos gráficos usados pelo autor para explicar o fenômeno. No primeiro temos, em preto, a produção do poço caso não houvesse parada na produção e, em azul, a produção no caso de ocorrência de indisponibilidade do poço. No segundo gráfico fica evidente o erro que pode ocorrer caso se considere a produção do poço como perda no caso de indisponibilidade.

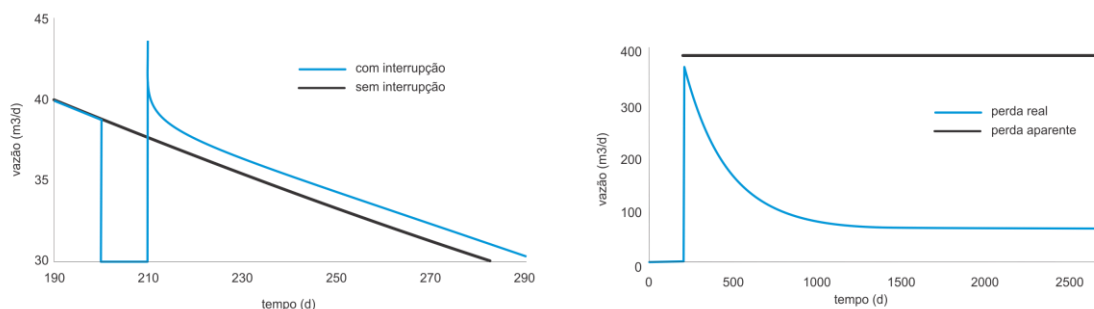


Figura 3 - vazões de um reservatório com um poço, com e sem interrupção-Paiva (1997)

Para ilustrar o nível de complexidade ao qual esse problema pode chegar, apresentamos uma outra ilustração (Figura 4) do que pode ocorrer, neste caso para reservatório com mais de um poço.

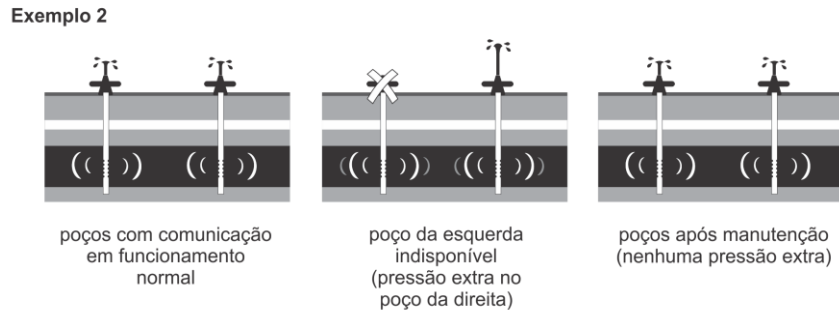


Figura 4 - transferência de pressão

Os poços no início em operação possuem certa pressão. Quando um deles se torna indisponível, a pressão no reservatório muda fazendo com que o outro poço aumente a sua produção. Isso pode fazer com que pareça que o poço que ficou indisponível realmente tenha perdido produção no mesmo nível da sua média normal.

Então isso demonstra que a rigor os dados de perda que devem ser considerados devem ser os ajustados para a perda real. Essa análise de perda não deve fazer qualquer diferença prática nos procedimentos atuais de definição dos itinerários das sondas, mas influenciará no aumento ou não da frota, já que uma perda menor daria maior flexibilidade no tamanho da mesma, enquanto que uma perda muito alta restringiria.

Para a decisão pelo aumento ou não da frota, o preço do barril poderia ter que ser levado em consideração, talvez de forma indireta, já que isso é que define a viabilidade da exploração. O valor do barril oscilou entre menos de US\$ 40,00 e mais de US\$ 140,00 nos últimos dois anos. É uma diferença de mais de três vezes e meia. Isso seria útil no caso de quantificar as perdas nos poços e os custos das sondas em termos monetários a fim de minimizar o custo/prejuízo de forma integrada, avaliando se seria pior financeiramente deixar poços esperando ou contratar mais sondas.

Formulação

A formulação considerada neste trabalho foi a usada por Aloise et al (2006) por considerar as distâncias entre os poços e a frota como heterogênea, apenas acrescentamos o custo diário do uso das sondas. Essa formulação ainda é atual, tendo em vista que pouco se tem feito sobre frota heterogênea para esse problema.

Nessa formulação as restrições estabelecem que cada poço seja servido por apenas uma sonda, asseguram que cada sonda sirva a no máximo um poço por vez e que cada poço é servido por uma sonda que tenha nível suficiente para o serviço.

A função objetivo 1 (equação 2) minimiza as perdas de produção reais enquanto os poços demandando serviço não começam a produzir de novo e a função objetivo 2 (equação 3), proposta neste trabalho, minimiza os custos diários com as sondas de produção (os valores que o custo diário das sondas podem assumir serão descritos mais a frente).

$$\text{FO1: } \min \sum_{j=1}^n p_j(x_j + d_j) \quad (2)$$

$$\text{FO2: } \min \sum_{i=1}^m v_i(x_i + d_i) \quad (3)$$

Onde p_j é a perda real prevista para o poço indisponível $j = 1, \dots, n$; v_i é o custo diário da sonda $i = 1, \dots, n$; x é o tempo de deslocamento da posição inicial da sonda até o poço; e d é a duração do serviço de manutenção previsto para o poço indisponível.

4. Instâncias propostas

Existe uma carência de instâncias do problema na literatura, principalmente se considerarmos uma frota heterogênea. Como defendemos a resolução do problema dessa forma mais completa, foi necessário criar instâncias que pudessem ser utilizadas para testar os procedimentos a serem realizados no futuro. Para não partir do zero, aproveitamos instâncias já utilizadas por vários autores e as fundimos para poder contar com os benefícios dos dados de cada uma.

De Golden (1984), utilizamos um subconjunto chamado de G12 das instâncias artificiais já consagradas que foram propostas para o Problema do Roteamento de Veículos com Frota Heterogênea. Esse subconjunto possui instâncias repetidas, onde a diferença é apenas a posição do poço ou o número de veículos. Nesses casos, consideramos só uma instância. Dessa forma, do conjunto de 12 instâncias originais do G12, utilizamos 8.

O G12 possui instâncias que variam de 21 pontos a 101 pontos dispostos como sendo do tipo chamado de “rural”. No tipo rural, os pontos são distribuídos de forma espalhada, sem regiões de densidade de pontos consideravelmente maior que as das outras, o inverso do que acontece no tipo “urbano” (Eksioglu, Vural, e Reisman 2009). Essa disposição é ideal para casos onde se esteja considerando um só campo “onshore”.

Dessas instâncias, aproveitamos a estrutura geral, a posição dos clientes, os tipos de veículos e as demandas por produtos. Os pontos que representavam as posições dos clientes foram transformados na posição dos poços (o ponto relativo ao depósito no problema original passou a ser simplesmente um poço necessitando de serviço de nível 0 e com perda de produção também 0, para fins de simplificação) e os valores das demandas por produtos foram transformados em níveis de serviço necessário para cada um dos poços, uma necessidade para o tratamento do problema com frota heterogênea.

Em relação aos tipos de sonda aproveitamos apenas a quantidade de tipos constantes nas instâncias G12 (as quantidades de cada tipo foram deixadas em aberto). Em relação aos custos, como não foi obtida resposta de nenhuma das empresas contactadas, foram atribuídos custos crescentes em progressão aritmética e geométrica na tentativa de dar opções que possibilitem entrar em conformidade com os custos reais:

- a) O valor do tipo aumenta, de um nível para outro, em progressão aritmética segundo a fórmula:

$$v_n = 110 + 10n \quad (4)$$

- b) O valor do tipo aumenta, de um nível para outro, em progressão geométrica segundo a fórmula:

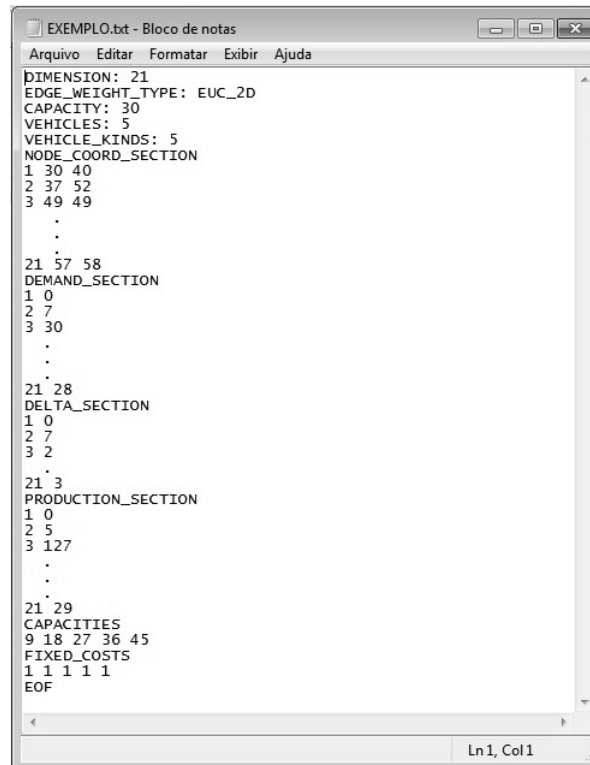
$$v_n = 100 + 10 \times 2^n \quad (5)$$

Para complementar essas instâncias para poderem ser usadas para o Problema do Agendamento de Sondas de Manutenção “Onshore” ainda faltava algo essencial, a informação sobre a perda de produção dos poços. Então buscamos instâncias que estão sendo usadas por vários autores nacionais, as de Costa (2004).

Dessas instâncias, obtivemos os valores da perda produção média dos poços e os tempos de intervenção necessários para cada poço. Apesar de os trabalhos considerarem a produção média de cada poço para alimentar a função objetivo, como salientamos antes, essa pode não ser a melhor opção caso se resolva definir o número de sondas usando algum parâmetro financeiro. Apesar disso, e por falta de dados nesse sentido, consideramos que os dados dessas últimas instâncias fornecem o valor de perda diária real de produção quando o poço se torna

indisponível.

Como resultado, temos um conjunto de oito instâncias com dados de distância (que podem ser usados como minutos de deslocamento ou quilômetros de deslocamento), o nível de manutenção necessário de cada poço, o tempo de intervenção de cada poço e o total de tipos de sondas. Um exemplo da disposição da informação no arquivo da instância pode ser visto na Figura 5.



```

EXEMPLO.txt - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
DIMENSION: 21
EDGE_WEIGHT_TYPE: EUC_2D
CAPACITY: 30
VEHICLES: 5
VEHICLE_KINDS: 5
NODE_COORD_SECTION
1 30 40
2 37 52
3 49 49
.
.
21 57 58
DEMAND_SECTION
1 0
2 7
3 30
.
.
21 28
DELTA_SECTION
1 0
2 7
3 2
.
21 3
PRODUCTION_SECTION
1 0
2 5
3 127
.
.
21 29
CAPACITIES
9 18 27 36 45
FIXED_COSTS
1 1 1 1 1
EOF
Ln1, Col1

```

Figura 5 - exemplo de instância proposta

5. Resultados Computacionais

Para este primeiro experimento computacional, implementamos uma heurística construtiva considerando um horizonte de planejamento de 15 dias e a distância entre os poços como sendo em quilômetros. Sendo assim, nem todos os poços serão atendidos em alguns casos. Isso ocorre na prática.

Em relação ao custo das sondas, acreditamos que seja importante para avaliar estratégias considerar o custo diário de cada sonda, mesmo que o aluguel seja mensal. Para a heurística construtiva considerada neste trabalho, o tipo de variação do custo entre os níveis de sonda não interfere na qualidade da solução final pois o número de sondas de cada tipo é fixado no início do problema e o tipo importa apenas na hora de definir qual poço poderá ser atendido por qual sonda. Sendo assim, o custo não interfere na complexidade da heurística em questão mas deve ser levado em consideração pelo decisor, como abordado antes.

A heurística construtiva se vale de uma lista de priorização do atendimento dos poços, onde os poços são organizados em ordem decrescente da sua perda de produção por dia prevista para cada poço dividida pelo tempo de serviço de manutenção necessário. Nessa heurística cada poço da lista é atribuído ao fim da fila da sonda que tenha nível para atendê-lo e que menos aumente o valor da função objetivo. Em outras palavras, o poço é testado em cada uma das posições disponíveis que não ferem a restrição do nível do serviço ser menor que o nível da sonda.

Com essa heurística buscou-se simular uma escolha que poderia ser feita pela equipe responsável pelo agendamento (é uma primeira heurística construtiva para teste das instâncias criadas).

A Tabela 2 e a Tabela 3 abaixo apresentam os resultados da heurística para uma unidade de cada tipo de sonda e para duas unidades de cada tipo de sonda, respectivamente. Em cada tabela são apresentados os resultados obtidos considerando ou não as distâncias e qual seria a diferença. Esses resultados são compostos pelos custos (com progressão aritmética ou geométrica em relação ao nível), pela função objetivo principal (a perda total de produção) e por quantos poços da instância não foram atendidos.

Tabela 2 - resultado da heurística construtiva para uma sonda por tipo

instância	total de poços	tipos de sondas	sem considerar as distâncias				considerando as distâncias em quilômetros				diferença			
			c. arit.	c. geo.	FO1	não at.	c. arit.	c. geo.	FO1	não at.	c. arit.	c. geo.	FO1	não at.
WRS1	21	5	205,00	335,33	393,75	0	207,64	340,19	394,74	0	2,64	4,85	0,99	0
WRS2	21	3	188,67	213,00	509,00	0	187,91	211,89	513,94	1	-0,75	-1,11	4,93	1
WRS3	51	6	390,50	869,00	1470,35	9	401,02	892,29	1483,49	9	10,52	23,29	13,14	0
WRS4	51	3	195,00	220,00	2197,55	24	192,04	216,24	2213,37	24	-2,96	-3,76	15,82	0
WRS5	51	3	193,00	218,00	2047,65	22	194,62	219,37	2069,48	22	1,62	1,37	21,83	0
WRS6	76	4	268,00	348,00	4938,10	40	267,63	347,27	5006,76	41	-0,37	-0,73	68,66	1
WRS7	76	6	420,67	901,67	3717,95	27	422,93	893,36	3780,84	27	2,27	-8,31	62,89	0
WRS8	101	3	195,00	220,00	6441,95	73	196,22	221,49	6478,15	74	1,22	1,49	36,20	1

Tabela 3 - resultado da heurística construtiva para duas sondas por tipo

instância	total de poços	tipos de sondas	sem considerar as distâncias				considerando as distâncias em quilômetros				diferença			
			c. arit.	c. geo.	FO1	não at.	c. arit.	c. geo.	FO1	não at.	c. arit.	c. geo.	FO1	não at.
WRS1	21	5	203,83	328,67	320,75	0	204,56	329,62	320,82	0	0,73	0,95	0,07	0
WRS2	21	3	189,17	214,33	367,30	0	191,22	216,17	367,70	0	2,05	1,84	0,40	0
WRS3	51	6	541,83	1234,33	1020,90	0	549,88	1236,03	1025,79	0	8,05	1,70	4,89	0
WRS4	51	3	354,00	400,67	1426,65	8	363,32	411,86	1441,39	8	9,32	11,20	14,74	0
WRS5	51	3	372,00	418,33	1380,40	3	375,50	424,11	1397,05	4	3,50	5,78	16,65	1
WRS6	76	4	509,17	661,33	3273,85	17	520,60	677,44	3315,17	17	11,43	16,11	41,32	0
WRS7	76	6	769,50	1637,33	2535,35	2	771,60	1665,36	2558,31	3	2,10	28,02	22,96	1
WRS8	101	3	386,00	436,00	4940,65	51	381,46	431,07	4982,91	53	-4,54	-4,93	42,26	2

Observamos que mesmo para distâncias curtas (como é o caso das instâncias consideradas) e um número de poços relativamente pequeno a perda de produção desconsiderada pode chegar a mais de 1% num horizonte de apenas 15 dias. Além disso, corre-se o risco de ter poços não atendidos, como citado antes. No caso da instância WRS8, por exemplo, não considerar as distâncias resultaria numa perda não prevista de produção de 0,84% e no não atendimento de 4% dos poços previstos na agenda.

Considerando apenas a resolução que considera as distâncias, o aumento no número de sondas provoca, em porcentagem, as variações mostradas na Tabela 4. Podemos observar que dobrar a quantidade de sondas, utilizando essa mesma heurística construtiva, não implica necessariamente em dobrar a melhoria da função objetivo. Isso pode indicar que, independentemente do método abordado para encontrar a solução, talvez seja melhor deixar que a quantidade de sondas permaneça a mesma e que certos poços sejam deixados para o próximo horizonte de planejamento, onde serão considerados junto com os novos poços que surjam. Cabe ao decisor avaliar a compensação envolvida em relação à função objetivo.

Tabela 4 - variações percentuais nos custos com as sondas e na perda de produção

	poços	tipos de sondas	custo aritmético	custo geométrico	FO1	não atendidos
WRS1	21	5	-1,48%	-3,11%	-18,73%	0,00%
WRS2	21	3	+1,76%	+2,02%	-28,45%	-100,00%
WRS3	51	6	+37,12%	+38,52%	-30,85%	-100,00%
WRS4	51	3	+89,18%	+90,46%	-34,88%	-66,67%
WRS5	51	3	+92,94%	+93,33%	-32,49%	-81,82%
WRS6	76	4	+94,52%	+95,08%	-33,79%	-58,54%
WRS7	76	6	+82,44%	+86,42%	-32,33%	-88,89%
WRS8	101	3	+94,40%	+94,62%	-23,08%	-28,38%

6. Conclusões

Sabemos que o não uso das distâncias na resolução do Problema do Agendamento de Sondas de Manutenção “Onshore” não é um problema muito grave, mas pode provocar o aparecimento de agendas que não podem ser cumpridas, então pelo menos um valor fixo realista para representar os deslocamentos entre os poços deveria ser utilizado. Claro que essas considerações só valem para o caso do problema em sua forma determinística. Os tempos de deslocamento e de manutenção não são estáticos e isso por si só já é uma simplificação considerável do modelo.

Em relação à heterogeneidade das sondas, se para determinado caso as sondas forem mesmo todas iguais basta considerar que todas as sondas possuem nível suficiente para atender o serviço de nível mais alto que seja necessário e resolver o problema como frota homogênea. Mas ressaltamos a importância de se explorar a versão heterogênea por ser mais robusta e mais aplicável a problemas reais. Isso evita que a solução final tenha que ser substancialmente alterada porque determinadas sondas não tem capacidade para determinados poços aos quais foram alocadas. O esforço necessário para a mudança poderia inviabilizar a agenda.

Já em relação à consideração da pressão acumulada durante a inatividade do poço e outros fatores que interfiram no cálculo das perdas, são questões que devem ser resolvidas antes do problema de agendamento, na hora da criação da lista com as perdas dos poços, e não interferirá na complexidade do problema, apenas na capacidade de ação do decisor.

O objetivo do artigo era levantar questões que enriquecessem o tema neste trabalho preliminar. O próximo passo é tentar descobrir quais seriam os ótimos para essas instâncias que estamos propondo e desenvolver métodos eficientes que considerem as características híbridas (de roteamento e agendamento) do problema. As instâncias propostas aqui podem ser obtidas por correio eletrônico direto com os autores.

Referências

- Aloise, D.J., Aloise D., Rocha C.T.M., Ribeiro C.C., Filho Ribeiro J.C. e Moura L.S.S.** (2006), Scheduling Workover Rigs for Onshore Oil Production, *Discrete Applied Mathematics*, 154 (5 SPEC.ISS.), 695-702.
- Beck, J.C., Prosser, P. e Selensky, E.** (2002), On the Reformulation of Vehicle Routing Problems and Scheduling Problems, 42-9.
- Caetano, S. e Maurício, J.**, Políticas e estratégia para o desenvolvimento da produção independente de petróleo e gás, *Praxis Brasil Consultoria de Investimentos para a Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Petróleo e Gás*, 2010 (http://www.abpip.com.br/wiki/arquivos_carregados/ABPIP_Políticas_e_estratégia.pdf, 5, 2011)
- Costa, L.R. e Filho, V.J.M.F.** (2004), Uma heurística para o problema do planejamento de itinerários de sondas em intervenções de poços de petróleo, *XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 1844-1853.
- Eksioglu, B., Vural, A.V. e Reisman A.** (2009), The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review, *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483.



- Hyne, N.J.**, Dictionary of Petroleum Exploration, Drilling & Production, PennWell Books, 1991.
- Golden, B.L., Assad A.A., Levy, L. e Gheysens, F.G.** (1984), The fleet size and mix vehicle routing problem, *Computers & OR*, 11(1), 49-66.
- Glaydston, M.R., Mauri, G.R. e Lorena L.A.N.** (2001), A simple and robust Simulated Annealing algorithm for scheduling workover rigs on onshore oil fields, *Computers & Industrial Engineering*, 60(4), 519-526.
- Paiva, R.O.** Itinerário de sondas com quantificação de perdas através de simulador de reservatórios, Universidade Estadual de Campinas, 1997
(http://www.unisim.cepetro.unicamp.br/publicacoes/tese_mestrado_RonaldoPaiva.pdf, 5, 2011.)
- Paiva, R.O., Schiozer, D.J., Bordalo, S.N.** (2000), Optimizing the itinerary of workover rigs, 16th World petroleum congress.