

## BENCHMARKING PARA ENGENHARIA DE POÇOS

Ricardo de Melo e Silva Accioly  
Rafael de Olivaes Valle dos Santos

## RESUMO

*Benchmarking* é o processo de medir e melhorar o desempenho de uma empresa (ou área desta empresa) por comparação com os melhores do mercado ou indústria. Uma etapa fundamental neste processo é a definição de métricas (referenciais) de desempenho que permitam avaliar se um projeto (produto, serviço ou prática) é competitivo ou não. Em particular, na área de Engenharia de Poços, esses referenciais devem ser criados a partir de uma base de dados de poços construídos, preferencialmente com registros de diversas operadoras, para que se tenha um universo de comparação amplo. Este artigo aborda como esse processo é realizado em algumas das principais empresas do setor.

**Palavras-chave:** *Benchmarking*. Engenharia de Poços. Métricas. Indicadores.

## 1 INTRODUÇÃO

Se alguém é capaz de fazer melhor, mais rápido e/ou mais barato o que você está fazendo, é bem possível que ele(a) tenha práticas diferentes da sua. Descobrir quais são estas práticas, adaptá-las à sua situação e depois adotá-las no seu dia a dia vai, muito provavelmente, melhorar o seu desempenho (STAPENHURST, 2009). Este raciocínio resume bem a importância do processo de *Benchmarking*: medir e melhorar o que se está fazendo, por comparação com quem está fazendo melhor (*best-in-class*).

Não há uma metodologia única para fazer *benchmarking*, mas há elementos que devem estar, de uma forma ou de outra, presentes no processo: (i) métricas ou referenciais de comparação e (ii) dados confiáveis para o cálculo dessas métricas. As métricas podem ser elaboradas pelo próprio agente que vai desenvolver o estudo de comparação, ou escolhidas entre as publicadas pelas comunidades de *benchmarking*.

A obtenção de dados de comparação, em geral, é feita através de alguma associação ou consórcio de empresas (clube de *benchmarking*). Adicionalmente ao *benchmarking* "externo" – que é a comparação com outras empresas –, uma empresa também pode olhar para si mesma,

comparando seus próprios resultados ao longo do tempo, no que se chama *benchmarking* "interno".

Na área de Engenharia de Poços, as principais métricas estão relacionadas a prazo e custo de construção de poços (KAISER; PULSIPHER, 2007; KAISER, 2009). Isso é perfeitamente esperado, uma vez que prazo e custo são indicadores-chaves em projetos de qualquer natureza. Os elementos que vão dar especificidade ao processo de *benchmarking* em uma determinada área são a (i) metodologia escolhida e, principalmente, (ii) a natureza dos dados, incluindo suas formas de obtenção e regras de pré-processamento.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: o item 2 traz definições básicas da Engenharia de Poços e apresenta, em linhas gerais, possíveis fluxos de *benchmarking* para essa área; o item 3 mostra um exemplo prático de *benchmarking* externo, baseado em modelagem estatística e o item 4 conclui o trabalho.

## 2 BENCHMARKING PARA ENGENHARIA DE POÇOS

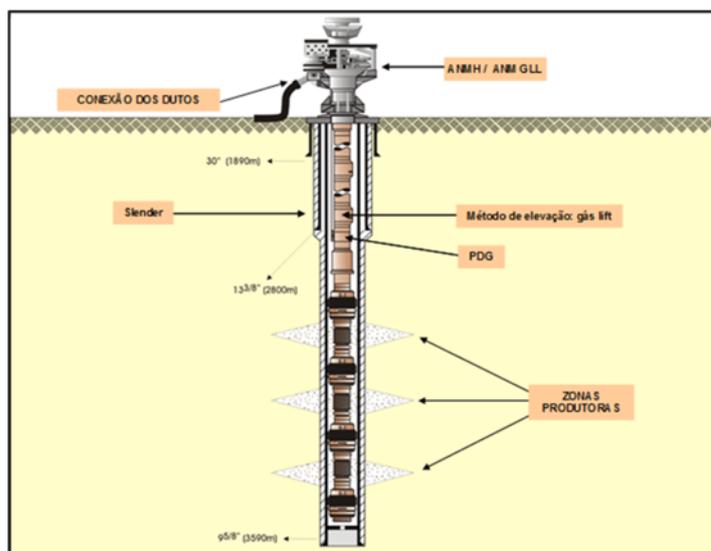
A disciplina de engenharia de poços trata, simplificada, dos aspectos técnicos relacionados à construção – dividida nas etapas de perfuração e completação – e à manutenção (*workover*) de poços de petróleo. O principal objetivo dos poços é o acesso ao reservatório para a produção do hidrocarboneto lá contido, bem como para a injeção de água ou gás para a manutenção da sua pressão.

A construção de um poço, do ponto de vista da engenharia, segue duas grandes etapas: (i) perfuração, onde a profundidade desejada é atingida com base nas informações do reservatório e (ii) completação, onde o poço perfurado é equipado para produção. Existe uma terceira etapa, que não faz parte do processo de construção, que é a interligação do poço a uma unidade de produção (elevação e escoamento).

Os poços completados são compostos por uma série de equipamentos, que são responsáveis por: contenção do solo (revestimento condutor e telas de contenção); segurança na operação (árvore de natal e válvula de

segurança de fundo - SSSV); funções operacionais (injeção de produto químico, equipamentos de elevação artificial e aquisição de dados operacionais) e interface para conexão dos dutos (Figura 1).

As companhias atuantes como operadoras na área de exploração e produção de petróleo têm o potencial de armazenar, diariamente, diversos registros relativos à construção e manutenção de poços. Cada operadora pode então organizar seus dados operacionais (transacionais) em uma base analítica (informacional), a partir da qual poderiam ser conduzidas análises diversas, incluindo o cálculo de indicadores e métricas – elementos chaves para medir o desempenho e realizar *benchmarking*.



**Figura 1 – Esquemático de um poço de petróleo.**

Fonte: PINTO, 2007, p. 4.

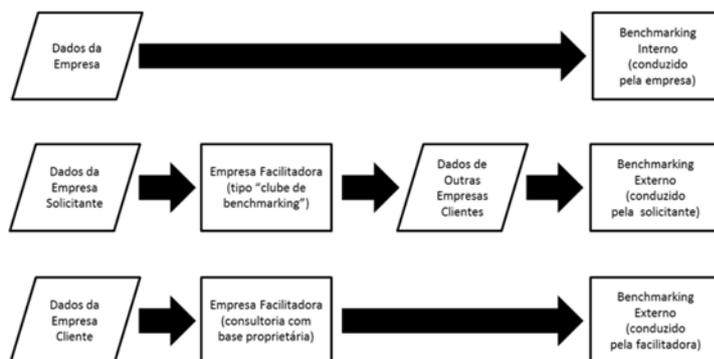
Ter uma boa organização interna dos dados de poços é uma atividade não apenas importante, mas estratégica para as empresas do setor, uma vez que essa organização é o ponto de partida para qualquer análise histórica que vise o ganho de competitividade. Se a comparação de uma empresa for com ela mesma, para medir sua evolução no tempo, isso constitui o processo de *benchmarking* interno. Mas, se o objetivo for o *benchmarking* externo, a empresa interessada vai precisar ter acesso aos dados de outras empresas.

Na prática, isso é feito através de empresas facilitadoras. Esse tipo de empresa tem característica de clube de *benchmarking* (STAPENHURST, 2009), mantendo e compartilhando dados entre suas operadoras clientes, podendo promover encontros anuais e publicar métricas específicas para um certo domínio de conhecimento.

Uma outra modalidade de serviço oferecido por empresas relacionadas a *benchmarking* é uma em que os dados não

são compartilhados: a empresa facilitadora tem uma base de dados proprietária e a utiliza, frente aos dados fornecidos pela empresa cliente, para informar como esta última está posicionada em relação à média da indústria (considerando um conjunto de métricas, comumente, ligadas a prazo, custo ou escopo). A Independent Project Analysis (IPA) é um exemplo de empresa que presta esse tipo de serviço, realizando estudos de *benchmarking* e análise de riscos para projetos em geral, incluindo a área de poços (IPA, 2017).

A Figura 2 exemplifica possíveis fluxos de *benchmarking*:



**Figura 2 – Fluxos de *benchmarking* (exemplos).**

Fonte: STAPENHURST, 2009, p. 19, adaptado pelos autores.

### 3 ESTUDO DE CASO

A maioria das empresas não só participa de consórcios de *benchmarking*, como também possui programas internos de melhoria de desempenho, que implicam a construção de modelos estatísticos específicos para esse fim.

Para ressaltar a importância dessa prática de *benchmarking*, vamos utilizar um conjunto de dados disponibilizado por uma grande empresa de petróleo que tem acesso a esse tipo de informação. Os dados correspondem a perfurações de desenvolvimento da produção que ocorreram entre 2010 e 2014, em diversas áreas do mundo. Poços de desenvolvimento da produção têm seus projetos elaborados com base nas informações dos poços exploratórios, portanto é esperado que seu desempenho seja melhor que o desses últimos.

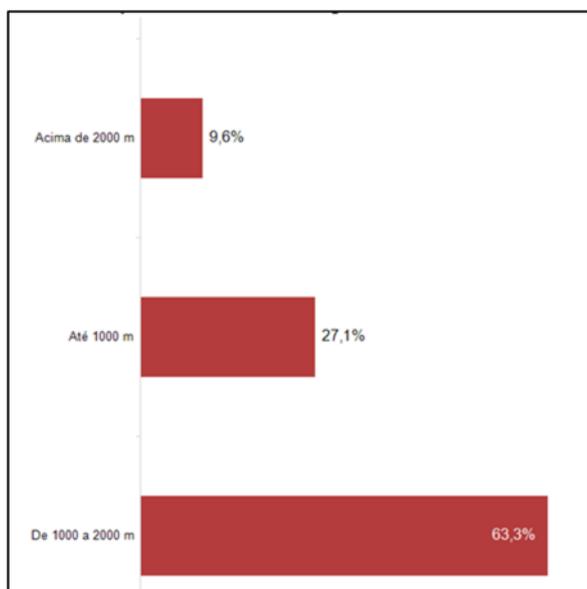
Este estudo está baseado na técnica estatística conhecida como análise de regressão (DRAPER; SMITH, 1998; FARADAY, 2015; FOX, 2016). Os modelos de regressão oferecem uma forma sistematizada e matematicamente rigorosa para construção de métricas de comparação.

Embora não exista uma literatura extensa abordando a aplicação desse tipo de modelagem na área de poços, há alguns trabalhos que podem ser citados aqui: Noerager et

al. (1987), Kaiser e Pulsipher (2007), Kaiser (2009), Jablonowski e MacEachern (2009), Valle dos Santos et al. (2010) e Accioly e Valle dos Santos (2015).

O objetivo de um modelo de *benchmarking* é fornecer a métrica (ou parte dela) para comparação de desempenho entre operadoras. Aqui, a variável dependente escolhida (lado esquerdo da equação) foi o tempo de perfuração. Para variáveis independentes (lado direito da equação), foram avaliadas mais de 10 opções que representavam características técnicas da amostra de poços disponível. Foram selecionadas as variáveis mais significativas estatisticamente, buscando preservar a parcimônia do sistema.

No Gráfico 1, pode-se observar que, para a amostra selecionada, a maior parte dos poços está em lâminas d'água (LDAs) entre 1000 m e 2000 m (63,3%). Neste artigo, considera-se essa faixa como sendo de águas profundas. Considera-se também que LDAs abaixo de 1000 m sejam de águas rasas, e acima de 2000 m sejam de águas ultraprofundas (esse tipo de convenção é muito subjetivo e varia conforme a visão de cada operador). Assim, o segundo grupo mais representativo aqui foi o de poços de águas rasas (27,1%), ficando com a menor representação os poços de águas ultraprofundas (9,6%).

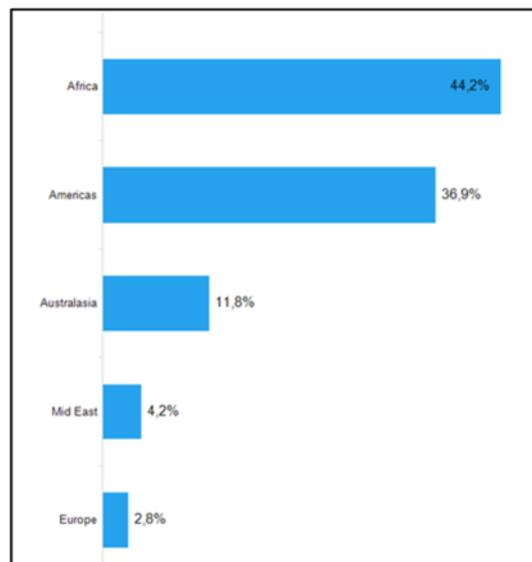


**Gráfico 1 – Distribuição por faixa de lâmina d'água.**

Fonte: OS AUTORES, 2018.

No Gráfico 2, observa-se que a maior parte dos poços da amostra está situado na África (44,2%). O oeste da África é uma região que teve diversos projetos desenvolvidos nos últimos anos, com presença das principais operadoras do mundo. (Angola também teve muitos desenvolvimentos.) Prosseguindo, a região das Américas aparece como a segunda mais relevante da amostra (36,9%). O Golfo do

México e a área marítima do Brasil são as localidades mais representativas dessa região. Por fim, aparecem Ásia e Austrália (11,8%), Oriente Médio (4,2%) e Europa (2,8%).



**Gráfico 2 – Distribuição por região geográfica.**

Fonte: OS AUTORES, 2018.

A construção de um modelo com poços de diversas regiões geográficas requer cuidados adicionais, pois, mesmo considerando-se o uso de uma variável que controle essa característica, o modelo pode sofrer influência negativa de uma região que tenha poços muito distintos. Isso é mais evidente no caso das perfurações, onde as características geológicas de uma área têm grande influência na duração da atividade. (Essa influência é reduzida no caso das completações, pois essas estão mais relacionadas com os equipamentos e as operações do que com os reservatórios.) Assim, a seleção de uma amostra homogênea é uma preocupação relevante nos modelos de regressão. Contudo, como o objetivo maior aqui é apenas demonstrar a metodologia e não apresentar a melhor modelagem possível, não serão executados processamentos ou análises mais aprofundadas na amostra selecionada.

Apesar do número de atributos (variáveis) disponíveis para cada poço ser relativamente grande (e.g. último diâmetro de broca, peso de lama máximo, número de desvios, inclinação etc.), opta-se quase sempre pela modelagem mais simples possível, dentro de um critério de parcimônia, i.e., um critério de balanço entre simplicidade da equação e qualidade dos seus resultados. Assim, o modelo final proposto para geração das métricas de *benchmarking* foi o da Equação 1:

$$\hat{Y} = \beta_0 A^{\beta_1} B^{\beta_2} C^{\beta_3} D^{\beta_4} \quad (1)$$

Onde:

$\hat{Y}$  = Duração estimada da perfuração (dias)

A = LDA (metros)

B = Número de revestimentos (2, 3, ou 4 – excluindo o de produção)

C = Intervalo perfurado ou soterramento (metros)

D = Região geográfica (*dummy*)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  = coeficientes da regressão

A partir desse modelo, pode-se estabelecer métricas de desempenho associadas a cada poço da amostra (ou a poços fora dela, mas considerados análogos) que permitam a comparação entre a duração realizada (efetivamente ocorrida) e a duração esperada (estimada pela regressão). Em particular, utilizou-se aqui o Índice de Competitividade, ICp (ACCIOLY; VALLE DOS SANTOS, 2015), definido conforme a Equação 2:

$$ICp = Y / \hat{Y} \quad (2)$$

Onde:

Y = Duração realizada da perfuração por poço (dias)

$\hat{Y}$  = Duração estimada da perfuração por poço (dias)

Em um modelo linear bem ajustado, com a devida aplicação do fator de correção oriundo da transformação logarítmica empregada na variável dependente (HU, 2005), a média do ICp na amostra é 1. Valores acima de 1 denotam poços mais lentos que a média, e abaixo de 1, tem-se os poços mais rápidos.

Na amostra original utilizada para ajuste do modelo proposto constavam 14 operadoras. Com o modelo ajustado, para representar os resultados de maneira mais sucinta e sem perda de generalidade, foram selecionadas as 4 operadoras que tinham mais poços perfurados (com seus nomes omitidos por questões de confidencialidade). Com a aplicação do modelo a cada um dos poços dessa amostra simplificada, é possível a criação de rankings de ICp's médios por operadora (Tabela 1) ou a associação de cada poço aos quartis da métrica (Tabela 2).

**Tabela 1 – Ranking de ICp's médios.**

Operadora	ICp
Operadora 1	0,86
Operadora 2	1,20
Operadora 3	0,87
Operadora 4	1,00

Fonte: OS AUTORES, 2018.

**Tabela 2 – Distribuição de poços por quartil do ICp em percentuais.**

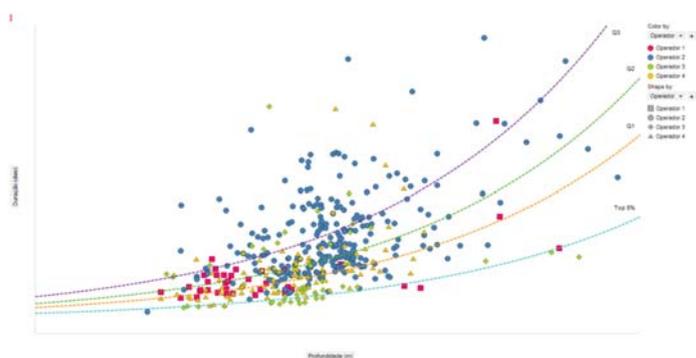
Operadora	Q1	Q2	Q3	Q4	TOTAL
Operadora 1	36	30	21	12	100
Operadora 2	9	20	31	40	100
Operadora 3	52	15	11	22	100
Operadora 4	19	29	31	21	100

Fonte: OS AUTORES, 2018.

Observa-se na Tabela 1 que a Operadora 1 é a mais competitiva, com tempos cerca de 14% menores que a média da indústria (originária da amostra original utilizada para ajuste do modelo). A Operadora 3 teve valores bem próximos, enquanto que a Operadora 4 teve resultado igual a média da indústria. A Operadora 2 teve resultados 20% maiores que a média.

Já na Tabela 2 é confirmado o bom desempenho das Operadoras 1 e 3, com destaque para a Operadora 3, que teve 52% dos poços no 1º quartil. Essa visão é interessante, pois deixa possível perceber que os poços do 4º quartil foram os que levaram a Operadora 3 a ter um desempenho pior do que o da Operadora 1.

O Gráfico 3 resume a distribuição da amostra de poços em relação ao modelo teórico, com indicação dos quartis Q1, Q2, Q3 e fronteira dos 5% melhores desempenhos (*Top 5%*) – quanto melhor o desempenho, mais metros perfurados na mesma duração.



**Gráfico 3 – Duração versus Profundidade. As curvas pontilhadas indicam os quartis e 5% melhores desempenhos.**

Fonte: OS AUTORES, 2018.

A criação desse tipo de análise pode ser encarada como o primeiro passo para a evolução do desempenho de uma operadora, pois antes de mais nada é importante saber quais são as empresas mais competitivas do mercado. A fase seguinte é compreender o que levou uma empresa a ter resultados melhores do que as outras. As razões para desempenhos diferenciados são diversas e podem estar ligadas a questões tecnológicas, a diferenças nas práticas e processos adotados ou até mesmo a restrições de

mercado e/ou governamentais. A investigação dessas questões é relevante para garantir a competitividade tanto nos custos como nos prazos das atividades.

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou mostrar a importância e o potencial do *benchmarking* na Engenharia de Poços, utilizando um exemplo baseado em análise de regressão. Um dos fatores preponderantes para o sucesso desse tipo de trabalho é o investimento na criação de uma arquitetura de dados organizada, fundamentada na integração e unicidade, que possibilite não apenas a análise histórica dentro da própria empresa (*benchmarking* interno), mas também a participação em clubes de *benchmarking* (*benchmarking* externo).

Cabe observar também a importância de uma equipe multidisciplinar, trabalhando de forma coordenada, para que os resultados do *benchmarking* possam ser alcançados de maneira eficiente. Essa equipe deve envolver profissionais do negócio – responsáveis pela validação de modelos, críticas e sugestões relacionadas à atividade fim – e analistas de dados, responsáveis pelo suporte estatístico e estruturação de ambientes analíticos.

Finalmente, para reflexão, destacamos o seguinte trecho adaptado de Stapenhurst (2009): “Algumas pessoas podem dizer que *benchmarking* é uma perda de tempo. Mas às vezes isso é porque o *gap* entre elas e os melhores é tão grande que elas preferem não saber”. O processo de *benchmarking* não deve ser personalista, visando apontar culpados por um desempenho ruim. Deve, por outro lado, ser visto como instrumento corporativo para identificação de oportunidades de melhoria.

## ABSTRACT

Benchmarking is the process of measuring and improving by comparison. A key step in the process is to define performance metrics that can lead to the correct “portrait” of a project (product, service or practice): is it competitive or not? Particularly speaking, in the Well Engineering discipline, those metrics shall be created based on some well construction database, gathering, if possible, data from multiple operators or enterprises, for the sake of broader comparisons. The present article tells about how this process is carried out by some major companies in the field.

**Keywords:** Benchmarking. Well Engineering. Metrics. Performance Measures.

## REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, R. M. S; VALLE DOS SANTOS, R. O. Construção de poços marítimos. In: HAMACHER, Silvio; FERREIRA FILHO, Virgílio José Martins (Orgs.). **Aplicações de pesquisa operacional na indústria internacional de petróleo e gás: modelagem e solução para problemas da exploração à distribuição**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 95-108.
- DRAPER, Norman. R.; SMITH, Harry. **Applied regression analysis**. 3<sup>rd</sup> ed. New Jersey: Wiley, 1998.
- FARADAY, Julian J. **Linear models with R**. 2<sup>nd</sup> ed. London: CRC Press, 2015. Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science (Book 63).
- FOX, John. **Applied regression analysis and generalized linear models**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: SAGE, 2016.
- INDEPENDENT PROJECTS ANALYSIS (IPA). **Capital project risk analysis and benchmarking**. Disponível em: <<http://www.ipaglobal.com/services/risk-analysis-and-benchmarking>>. Acesso em: 04 jul. 2017.
- JABLONOWSKI, Christopher J.; MAC-EACHERN, Douglas P. Developing probabilistic well construction estimates using regression analysis. **Energy Exploration & Exploitation**, v. 27, n. 6, p. 439-452, 2009. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/0144-5987.27.6.439>>. Acesso em: 04 jul. 2017.
- HU, Shu-Ping. The impact of using log-error CERs outside the data range and ping factor. In: JOINT ISPA/SCEA INTERNATIONAL CONFERENCE, 5., 2005, Broomfield. **Proceedings...**, 2005. Disponível em: <[http://cade.osd.mil/Files/CADE/References/044\\_2005\\_SCEA\\_ImpactofLogCERs\\_TRI\\_SHu.pdf](http://cade.osd.mil/Files/CADE/References/044_2005_SCEA_ImpactofLogCERs_TRI_SHu.pdf)>. Acesso em: 04 jul. 2017.
- KAISER, Mark J. Modeling the time and cost to drill an offshore well. **Energy**, Amsterdam, v. 34, n. 9, p. 1097-1112, Sep. 2009. Disponível em: <[http://ac.els-cdn.com/S0360544209000383/1-s2.0-S0360544209000383-main.pdf?\\_tid=2bf99d6c-6028-11e7-8547-00000aac362&acdnat=149911311\\_0d732c4c2163382d847875995651c8ee](http://ac.els-cdn.com/S0360544209000383/1-s2.0-S0360544209000383-main.pdf?_tid=2bf99d6c-6028-11e7-8547-00000aac362&acdnat=149911311_0d732c4c2163382d847875995651c8ee)>. Acesso em: 04 jul. 2017.
- KAISER, Mark J.; PULSIPHER, Allan G. Generalized functional models for drilling cost estimation. **SPE Drilling & Completion**, Richardson, Texas, v. 22, n. 2, p. 67-73, Jun. 2007. SPE-98401-PA. Disponível em: <<https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-98401->

PA?id=journal-paper%2FSPE-98401-PA>. Acesso em: 04 jul. 2017.

NOERAGER J. et al. Drilling time predictions from statistical analysis. In: SPE/IADC DRILLING CONFERENCE, 1987, New Orleans. **Proceedings...** New Orleans, 1987. SPE-16164-MS.

PINTO, Flávio J. C. P. **Introdução ao Sistema Submarino**. Macaé, 2007. Apresentação.

STAPENHURST, Tim. **The benchmarking book**. Amsterdam: Elsevier, 2009.

VALLE DOS SANTOS, R. O. et al. Avaliação do desempenho de perfuração para engenharia de poços. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 62., 2010, Bento Gonçalves, RS. **Anais eletrônicos do...** Bento Gonçalves, RS: SOBRAPO, 2010. p. 2299-2306. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2010/pdf/72487.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

**Ricardo de Melo e Silva Accioly**

Graduação (1983) em Engenharia Civil pela UFRJ.  
Engenheiro de Petróleo Senior. Mestrado (1995) e  
Doutorado (2005) em Engenharia de Produção pela COPPE/  
UFRJ. Petrobras. GIA-E&P/GCR/AEC – Rio de Janeiro- RJ.  
E-mail: [raccioly@petrobras.com.br](mailto:raccioly@petrobras.com.br)

**Rafael de Olivaes Valle dos Santos**

Graduação (1999) em Engenharia de Computação,  
Mestrado (2001) e Doutorado (2012) em Engenharia  
Elétrica pela PUC-Rio. Pós-graduação em Petróleo & Gás  
pela COPPE/UFRJ (2008). Petrobras. GIA-E&P/GCR/AEC –  
Rio de Janeiro, RJ.]  
E-mail: [rvasantos@petrobras.com.br](mailto:rvasantos@petrobras.com.br)