

Estimativa da chance de Sucesso Exploratório: uma abordagem em três passos consistente com a classificação de recursos petrolíferos

Assessment of the chances for Exploration Success: a three-step approach consistent with the petroleum resource classification

Luciano Arantes Rezende Costa | Pedro Victor Zalán | Luciane Pierri de Mendonça Nobre

resumo

A atratividade de uma oportunidade exploratória depende, entre outros fatores, da chance de sucesso. Estimar essa chance não é uma tarefa simples, principalmente para uma empresa que enfrenta desafios geológicos como a exploração em novas fronteiras ou desafios tecnológicos como a produção em águas ultraprofundas, reservatórios complexos e óleos pesados. Nesse trabalho, é proposta uma abordagem de estimativa da chance de sucesso em três passos. Inicialmente, avalia-se a chance de que o sistema petrolífero funcione (Chance de Descoberta ou Chance de Sucesso Geológico). Em seguida, é

avaliada a chance de que, dada a descoberta, seja possível colocá-la em produção (Chance de Recuperação ou Chance de Sucesso Tecnológico). Finalmente, avalia-se a chance de Sucesso Comercial, dada a condição de que é possível colocá-la em produção (Chance de Comercialidade ou Chance de Sucesso Comercial). Essa abordagem permite especificar a contribuição das diversas especialidades envolvidas na complexa tarefa de avaliar a chance de sucesso e também é consistente com a classificação de recursos proposta pela Guideline... (2011).

Palavras-chave: economia da exploração | avaliação de risco | avaliação de oportunidades exploratórias

abstract

The attractiveness of an exploration opportunity depends, among other factors, upon the chance of success. The estimation of this chance is not an easy task, especially for a company facing geological challenges such as exploration in new frontier areas or technological challenges such as production from deep and ultra-deep waters, complex reservoirs or heavy oils. In this work, a 3-step methodology is proposed to estimate the chance of success. First step is the evaluation of the probability that a given petroleum system had effectively worked in the area and a hydrocarbon accumulation is present (Chance of Recovery or Chance of Technological Success). Second step is the assessment of the chance that discovery occurs and production is feasible (Chance of Recovery or Chance of Technological Success). Third step is the estimation of the chance that there is a discovery, it is producible and the production is commercial (Chance of Commerciality or Chance of Economic Success). This 3-step approach enables specification of the contribution of the several elements involved in the complex task of evaluating the chances of success and is also consistent with the Guidelines... (2011).

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: exploration economics | risk assessment | exploration opportunity evaluation

introdução

As oportunidades exploratórias podem ser classificadas segundo o estágio do conhecimento exploratório ou ainda, de forma equivalente, segundo a maturidade do projeto, como proposto pela *Society of Petroleum Engineers (SPE)*, em conjunto com outras organizações, em uma publicação aqui referenciada como *Guidelines...* (2011). Essa classificação engloba (1) oportunidades conceituais cuja existência é baseada apenas em analogias e referências a acumulações conhecidas (estágio de *play*), (2) situações em que haja indicações locais favoráveis à existência de uma acumulação de hidrocarbonetos, mas que ainda requerem aquisição de mais dados para justificar o poço exploratório ou definir melhor sua posição (estágio de *lead*), e (3) oportunidades nas quais a quantidade e a qualidade de dados permitam identificar uma situação francamente favorável para a existência de uma acumulação de hidrocarboneto (estágio de prospecto). Em qualquer um desses níveis ou estágios de conhecimento, a estimativa da Chance de Sucesso Exploratório é o ponto inicial da priorização dos esforços e investimentos.

Neste trabalho, é proposta uma abordagem para a estimativa da chance sucesso em três passos ou chances: (1) que o sistema petrolífero funcione e que uma acumulação de hidrocarbonetos esteja presente, (2) que seja tecnicamente possível colocar essa descoberta em produção e (3) que a produção seja comercial.

tipos de sucesso

Na avaliação de oportunidades exploratórias, a prática da indústria é estimar a Chance de Descoberta, ou Sucesso Geológico, com base na probabilidade de que estejam presentes todos os componentes necessários à formação de uma acumulação (*Guidelines...*, 2011; Rose, 2001; Otis e Schneidermann, 1997, entre outros).

Conjuntamente, é feita uma avaliação probabilística do tamanho da possível descoberta de maneira que seja representada toda a incerteza relativa ao volume potencialmente recuperável. Uma vez que a extensão dos possíveis valores pode

incluir resultados abaixo do mínimo necessário para um projeto comercial, com base na distribuição de probabilidades do volume recuperável estima-se a probabilidade de que a descoberta seja maior do que o mínimo econômico. Tal probabilidade, multiplicada pela Chance de Sucesso Geológico, resulta na Chance de Comercialidade.

Como Sucesso Geológico, autores como Rose (2001) e Otis e Schneidermann (1997) consideram a situação de encontrar uma acumulação em condições de sustentar um fluxo de óleo ou gás. Entretanto, a evolução da tecnologia tem permitido a obtenção de fluxos em reservatórios com baixíssimas permeabilidades ou mesmo com óleos cada vez mais pesados. Por isso, no presente trabalho, três tipos de sucesso são considerados: geológico, tecnológico e comercial.

Sucesso Geológico

Pode ser definido pela descoberta de quantidade significativa de petróleo (óleo, gás, condensado ou até mesmo hidrato) dentro de uma rocha reservatório e caracterizado por perfis elétricos, amostragem, teste, *kicks*¹ ou mesmo *blowouts*². Considera-se que seja possível a identificação de um *pay* petrolífero, isto é, a definição de determinada espessura de rochas reservatórios comprovadamente portadoras de hidrocarbonetos, seja uma espessura bruta (*gross pay*, medida entre o topo e a base da ocorrência de hidrocarbonetos, incluindo-se aí todas as fácies litológicas associadas aos reservatórios) ou líquida (*net pay*, medida apenas nas fácies com as melhores características de reservatório). Entende-se por quantidade significativa a existência de evidências suficientes para justificar a avaliação do volume *in place*³ e do volume potencial recuperável economicamente.

1 Fluxo de fluidos da formação (água, óleo ou gás) para o interior do poço durante a atividade de perfuração. Causado pela maior pressão dos fluidos do reservatório em relação à lama de perfuração. Trata-se de uma maneira não programada e indesejável de amostragem dos fluidos da formação atravessada, já que se não controlado a tempo, um *kick* pode resultar em um *blow out*.

2 Fluxo de grande porte, totalmente descontrolado, de fluidos da formação, que alcançam a superfície na boca do poço e que geralmente causa consequências sérias tais como explosões, incêndios e poluição ambiental.

3 Volume de petróleo no reservatório antes de qualquer produção e medido em condições de superfície. A partir do volume *in place* são estimadas as quantidades recuperáveis com o uso de técnicas de produção disponíveis no momento da avaliação. Destas estimativas, resultam as grandezas conhecidas como recursos e reservas.

Não está incluída na definição de Sucesso Geológico a necessidade de fluxo do petróleo do reservatório para o poço. Portanto, os principais elementos que controlam tal fluxo, como a qualidade do reservatório (no aspecto permeabilidade) e a qualidade do óleo (no aspecto viscosidade), devem ser considerados como fatores de risco apenas na estimativa da probabilidade de Sucesso Tecnológico.

Não são considerados Sucessos Geológicos as descobertas de reservatórios só com indícios de óleo e gás, com saturações residuais ou com *fizz water* (água de formação portadora de pequenas concentrações de gás dissolvidas, à semelhança de águas carbonatadas).

Exceto pela identificação de evidências de hidrocarbonetos, que pode ser melhorada com a tecnologia e que, eventualmente, pode levar à comprovação de *net pays* em locais antes desconhecidos, o que é tido como Sucesso Geológico é praticamente invariável com o tempo.

A Chance de Descoberta descreve a probabilidade de Sucesso Geológico.

Sucesso Tecnológico

Ocorrência de uma acumulação que no momento da descoberta pode ser colocada em produção com as tecnologias disponíveis, mesmo não sendo comercialmente viável. Sucesso Tecnológico está associado a um volume recuperável, pois a necessidade de fluxo de petróleo do reservatório para o poço está incluída na sua definição. Portanto, é na estimativa da probabilidade de Sucesso Tecnológico que devem ser considerados os principais elementos que controlam tal fluxo, como a qualidade do reservatório (no aspecto permeabilidade) e a qualidade do óleo (no aspecto viscosidade).

Devido à constante evolução da indústria do petróleo, o Sucesso Tecnológico tende a incrementos positivos com o tempo. Um exemplo dessa evolução é a recuperação de óleos cada vez mais pesados com o uso de técnicas como injeção de vapor, faturamento hidráulico etc.

A Chance de Recuperação descreve a probabilidade de Sucesso Tecnológico.

Sucesso Comercial

Ocorrência de uma descoberta que, sendo Sucesso Tecnológico, supera o volume recuperável

mínimo necessário para ser colocada em produção comercial. Tal ocorrência está associada a um volume, comumente representado por uma distribuição de probabilidade, que, sob as condições dadas de qualidade do fluido e do reservatório, expectativas de preço, custos de produção e regime fiscal, é comercialmente recuperável.

Uma acumulação comercial é capaz de retornar, pelo menos, os investimentos, custos e taxas desembolsados durante a fase de desenvolvimento da produção. Acumulações com sucesso comercial não implicam necessariamente retorno dos investimentos exploratórios. O parâmetro de avaliação é o Valor Presente Líquido (VPL) positivo, descontado pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA) da companhia. Para consideração de Sucesso Comercial, no cálculo do VPL não entram custos exploratórios, mas apenas os benefícios fiscais de tais custos.

Devido a oscilações nas condições econômicas e fiscais, o que é considerado Sucesso Comercial pode ter, no tempo, variações tanto positivas quanto negativas. Trata-se, portanto, de uma grandeza temporal.

A Chance de Comercialidade descreve a probabilidade de Sucesso Comercial.

correlação com a classificação de recursos da Society of Petroleum Engineers (2011)

Na classificação de recursos do Guidelines... (2011), as três principais classes de recursos são Recursos Prospectivos, Recursos Contingentes e Reservas. Recursos Prospectivos são aqueles ainda não descobertos. Contingentes são recursos descobertos cuja comercialidade depende de alguma condição econômica, contratual ou legal ou ainda estão em fase de avaliação. Reserva é um termo que deve ser usado estritamente para aqueles recursos descobertos remanescentes que podem ser produzidos comercialmente. Os recursos que no momento não são tecnicamente recuperáveis devem ser classificados como não recuperáveis. Uma parcela desses recursos pode, naturalmente, tornar-se recuperável no futuro, à medida que novas tecnologias sejam desenvolvidas.

As definições de sucesso propostas neste trabalho são compatíveis com as classes de recursos do Guidelines... (2011). A chance de descoberta é simplesmente a chance de descobrir petróleo, mesmo que não recuperável, com as tecnologias atuais, ou seja, elevar um recurso da classe de não descoberto até, pelo menos, a classificação de recurso descoberto não recuperável. A chance de recuperação é a chance de descobrir e recuperar um recurso ainda que sem retorno econômico, ou seja, elevar um recurso da classe de não descoberto pelo menos até a classe de descoberto contingente. Na maior parte das situações exploratórias convencionais, a chance de descoberta é igual à chance de recuperação. Finalmente, a chance de comercialidade é a chance de descobrir um recurso que seja comercial, isto é, que satisfaça as condições para ser declarado como reserva.

A figura 1 mostra as relações propostas por este trabalho e a classificação da Guidelines... (2011). Entretanto, o trabalho da Guidelines... (2011) não define uma chance associada à questão tecnológica, embora seja descrito o risco de a descoberta tornar-se não recuperável.

estimativa da chance de sucesso

Chance de Descoberta

A Chance de Descoberta, associada ao Sucesso Geológico, pode ser estimada, como tradicionalmente tem sido feito na exploração de petróleo, separando-se o risco em fatores que se relacionam com a descrição de um sistema petrolífero, como geração, migração, reservatório, retenção, geometria e sincronismo.

As favorabilidades relativas a cada fator de risco são quantificadas pelos geólogos e geofísicos de maneira subjetiva, mas “rigorosamente balizadas” pela quantidade e qualidade dos dados exploratórios disponíveis, bem como pela experiência do avaliador. A ênfase nas palavras “rigorosamente balizadas” se justifica pela necessidade de que estimativas feitas por avaliadores distintos sejam significativamente próximas umas das outras de maneira que observadores externos



Figura 1 – Classificação de recursos (simplificada de SPE, 2011) relacionada com as chances de sucesso propostas.

Figure 1 – Resource classification (Guidelines... ,2011, simplified) as related to the chances of success proposed.

ou turmas de revisão (*peer review groups*) percebam uma lógica geologicamente consistente suportando as estimativas.

Como proposto tanto por Otis e Schneidermann (1997) quanto por Rose (2001), a quantidade e a qualidade da informação disponível, em

conjunto com o julgamento dessa informação, devem orientar o avaliador na estimativa das favorabilidades. A figura 2 apresenta uma matriz de adequação, adaptada dos citados trabalhos, que pode ser utilizada como guia na estimativa da favorabilidade para cada um dos fatores de risco.

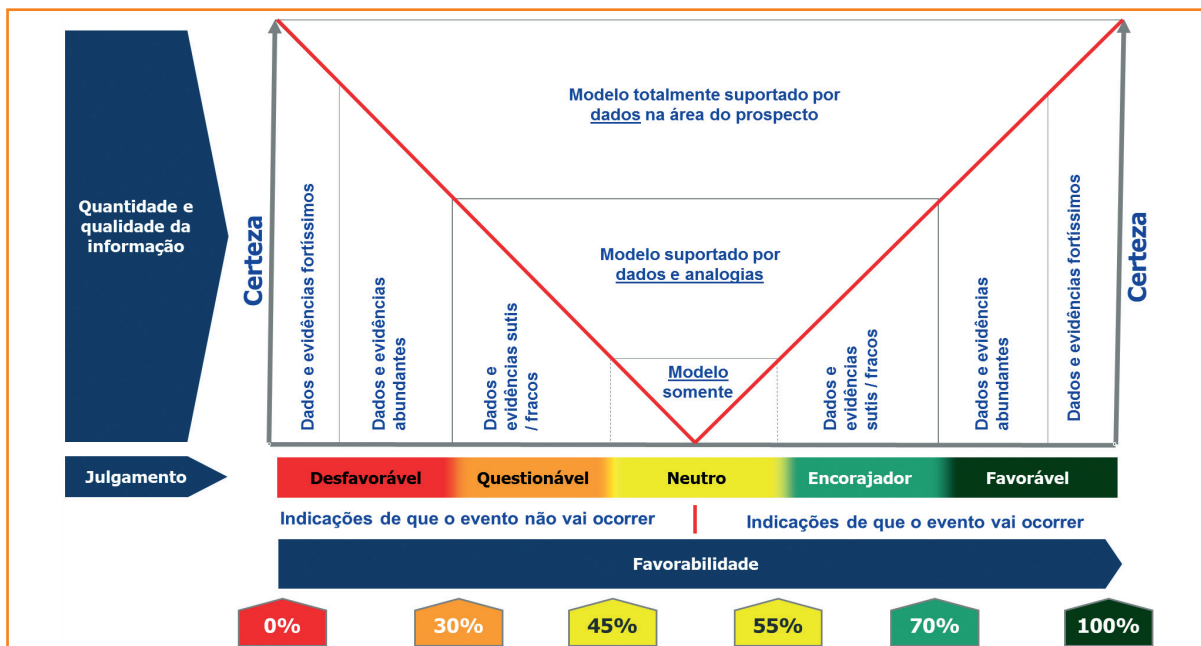


Figura 2 – Matriz de adequação (adaptada de Otis e Schneidermann, 1997 e Rose, 2001) para avaliação da favorabilidade, com base na quantidade e qualidade da informação disponível e no julgamento feito pelo avaliador sobre essas informações.

Figure 2 – Adequacy matrix (adapted from Otis & Schneidermann, 1997 and Rose, 2001) for evaluation of favorability based on the information quantity and quality available, and on the evaluator's judgement.

As probabilidades para cada fator de risco devem ser estimadas assumindo-se a independência entre os fatores geração, reservatório, retenção e geometria da trapa. O fator migração é condicionado à geração. O fator sincronismo é condicionado à migração e à geometria da trapa. A probabilidade de ocorrer uma acumulação é estimada pelo produto das favorabilidades desses diversos fatores de risco. São descritos em seguida os seis fatores de risco geológico e os elementos que devem ser considerados em cada um deles.

geração

Ocorrência dos três requisitos seguintes:

- existência, na área de drenagem (*fetch area*) do prospecto, de rocha de granulometria fina (folhelho, calcilutito, marga), denominada rocha geradora, com teores de carbono orgânico total significativamente altos e qualidade de matéria orgânica compatível com o(s) fluido(s) esperado(s) na acumulação;
- atuação, sobre essa rocha, de temperatura e pressão compatíveis com a transformação de matéria orgânica em hidrocarbonetos;
- condições físico-químicas e geológicas necessárias para a expulsão de hidrocarbonetos dessa rocha.

migração

Ocorrência das duas seguintes condições:

- condutos efetivos (falhas, fraturas e *carrier beds*) para que os hidrocarbonetos expulsos da rocha geradora alcancem o reservatório avaliado;
- rotas que permitam a concentração/focalização da migração de hidrocarbonetos para o reservatório avaliado, em contraposição a uma dispersão significativa dos hidrocarbonetos em movimentação.

reservatório

Ocorrência de rochas com volumes e condições porosas que permitam a acumulação de quantidades significativas de hidrocarbonetos em seu interior.

geometria da trapa

Ocorrência de situações geológicas (estruturais, estratigráficas, mistas) em área e altura que permitam o aprisionamento de volumes significativos de hidrocarbonetos dentro dos diversos níveis de rochas reservatórios no prospecto avaliado.

retenção

Ocorrência dos dois requisitos seguintes:

- condições selantes que envolvam a trapa e que impeçam, dificultem ou retardem significativamente o escape dos hidrocarbonetos aprisionados na rocha reservatório, dentro da geometria da trapa. Tais condições podem ser fornecidas por (1) rochas fechadas em termos de permoporosidade, de natureza diversa (evaporitos, folhelhos, vulcânicas, calcilutitos, margas); (2) falhas; (3) condições diagenéticas ou (4) hidrodinâmicas;
- preservação dessas condições selantes mesmo após o aparecimento e/ou reativação de falhas cortando o selo e/ou basculamentos mais recentes do que a migração de hidrocarboneto.

sincronismo

Ocorrência logicamente concatenada e temporalmente adequada dos cinco itens do sistema petrolífero, descritos acima, de maneira a permitir a existência de um volume significativo de hidrocarbonetos no objetivo avaliado.

Chance de Recuperação

A Chance de Recuperação, associada ao Sucesso Tecnológico, refere-se à existência de tecnologia para produção do fluido do reservatório. Esta depende basicamente de dois fatores: permeabilidade do reservatório e qualidade do fluido. Para uma possível acumulação de óleo, a qualidade do fluido refere-se à viscosidade. Na avaliação do risco, é aceitável usar o grau API do óleo como um substituto para o parâmetro viscosidade. No caso de gás, no item qualidade do fluido, está incluído, por exemplo, o conteúdo de CO₂. Neste caso, o problema não é a recuperação em si do hidrocarboneto gasoso, mas o destino que deve ser dado ao CO₂ que é recuperado associadamente.

Em qualquer um dos fatores, permeabilidade ou qualidade do fluido, a abordagem para estimar a Chance de Recuperação, dado o Sucesso Geológico, segue basicamente a mesma abordagem:

- estima-se a incerteza quanto ao parâmetro (permeabilidade, viscosidade ou conteúdo em CO₂) mediante uma distribuição de probabilidades;

- estima-se um valor mínimo do parâmetro que garanta o fluxo do reservatório para o poço (fig. 3);
- a Chance de Recuperação é o produto das probabilidades de superar os valores mínimos dos parâmetros tecnológicos (permeabilidade, viscosidade ou conteúdo em CO₂) pela Chance de Descoberta.

Chance de Comercialidade

A Chance de Comercialidade é estimada de maneira análoga à Chance de Sucesso Tecnológico e conforme descrita, por exemplo, por Rose (2001). Com base na incerteza no volume recuperável da potencial descoberta, calcula-se a probabilidade de que a acumulação supere um valor recuperável mínimo para que seja comercial. A Chance de Sucesso Comercial é igual ao produto dessa probabilidade pela Chance de Sucesso Tecnológico.

exemplo de estimativa

O exemplo da tabela 1 ilustra a estimativa de chance para um prospecto hipotético. A Chance de Descoberta, de 32,1%, é o produto das favorabilidades atribuídas aos fatores geológicos. A Chance de Recuperação, calculada em 18,6%, é o produto da Chance de Descoberta pelos fatores tecnológicos.

A curva de distribuição de volumes recuperáveis, em caso de Sucesso Tecnológico, pode incluir valores abaixo do limite de comercialidade. A Chance de Comercialidade é a Chance de Recuperação multiplicada pela probabilidade de superar tal limite. No exemplo hipotético da figura 4, esse limite é de 51 milhões de barris de óleo recuperáveis, e a probabilidade de superá-lo é de 64,4%. A Chance de Comercialidade então é de 11,9%, isto é, o produto de 64,4% x 18,6%.

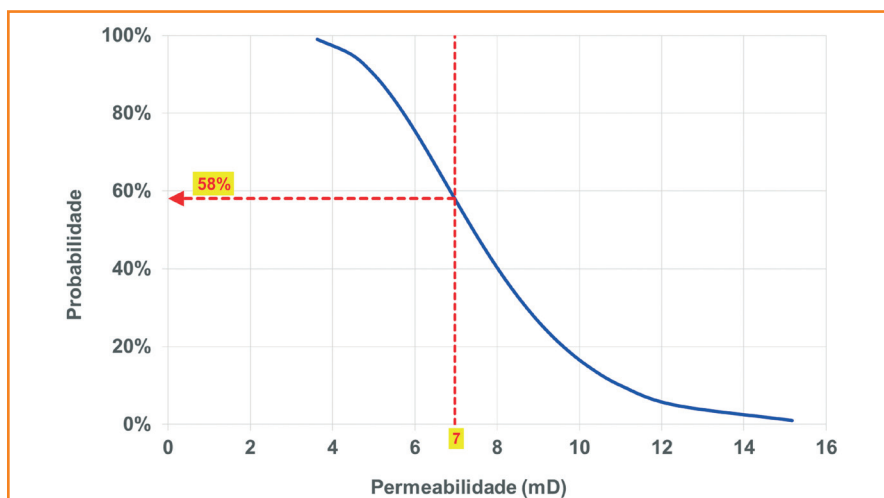


Figura 3 – Estimativa da Chance de Sucesso Tecnológico, dado o Sucesso Geológico, com base na incerteza no parâmetro permeabilidade do reservatório. Neste exemplo, esta chance é de aproximadamente 58%, assumindo-se que o corte de permeabilidade seja 7mD.

Figure 3 – Technological chance of success estimate based on the uncertainty in the reservoir permeability, given Geological Success. In this example, assuming a permeability cutoff of 7mD, the chance is about 58%.

Fatores geológicos	
Geração	100,0%
Migração	90,0%
Reservatório	70,0%
Geometria	85,0%
Retenção	60,0%
Sincronismo	100,0%

Fatores tecnológicos	
Reservatório	58,0%
Fluído	100,0%

Chances	
Descoberta	32,1%
Recuperação	18,6%

Tabela 1

Exemplo de estimativa da Chance de Sucesso com base nos fatores geológicos e tecnológicos (neste caso, não existe risco quanto ao fluido, apenas risco quanto à permeabilidade do reservatório, como ilustrado na figura 2).

Table 1

Example of Chances of Success estimate based on geological and technological risk factors (in this case, there is no risk relative to the fluid, but only to the reservoir permeability, as shown in figure 2).

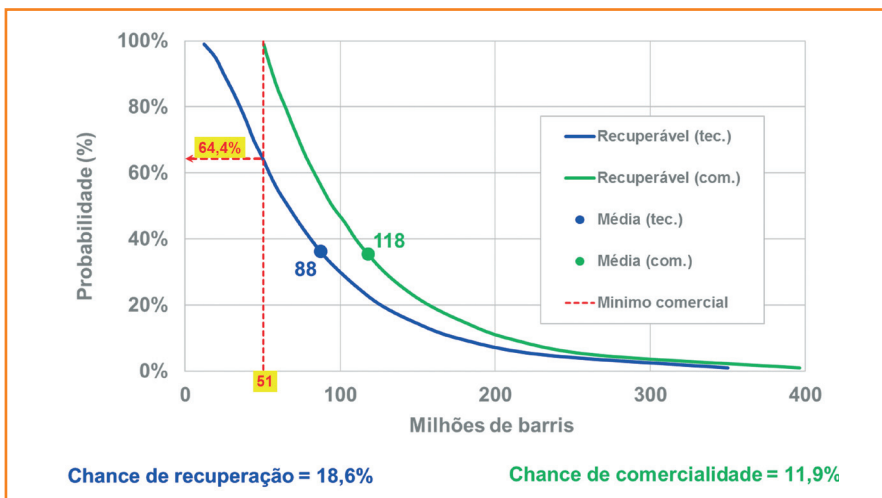


Figura 4 – Cálculo da Chance de Comercialidade com base na curva de distribuição de volumes recuperáveis. No caso, a Chance de Comercialidade é de 11,9%, calculada como o produto da Chance de Recuperação vezes a chance de superar o volume mínimo para a comercialidade (no exemplo, 51 milhões de barris).

Figure 4 – Chance of Commerciality calculation from the probability distribution of the recoverable volumes. The Chance of Commerciality is 11.9%, that is, the product of the Chance of Recovery times the probability of being greater than the minimum threshold for the commerciality (in the example 51 million barrels).

avaliação de recurso não convencional

Em um sentido mais amplo, recurso não convencional é aquele recurso que necessita de intensa estimulação para produzir. Esta definição enquadra-se perfeitamente na proposta deste trabalho. Na avaliação de um gás de folhelho, por exemplo, para uma bacia em que a ocorrência deste tipo de acumulação não é conhecida, teríamos risco de descoberta, de recuperação e de comercialidade. Por outro lado, em uma bacia onde este recurso comprovadamente já está descoberto, não haveria mais o risco geológico, mas cada poço ainda teria o risco de recuperação e de comercialidade.

conclusão

A Chance de Sucesso é fundamental na avaliação da atratividade de uma oportunidade exploratória. Diante de desafios como trapas cada vez mais

complexas, óleos pesados, reservatórios fechados e águas profundas e ultraprofundas, é necessário separar pelo menos três tipos de sucesso – geológico, tecnológico e comercial –, que definem respectivamente a Chance de Descoberta (ou Chance de Sucesso Geológico), a Chance de Recuperação (ou Chance de Sucesso Tecnológico) e a Chance de Comercialidade (Chance de Sucesso Comercial).

Sucesso Geológico, neste trabalho, equivale à ocorrência de uma descoberta como descrita pela Guidelines... (2011). Sucesso Tecnológico equivale aproximadamente ao Sucesso Geológico descrito por Rose (2001) e por Otis e Schneidermann (1997). Sucesso Comercial é equivalente ao Sucesso Comercial como descrito por Rose (2001) e também pela Guidelines... (2011).

A consideração de Sucesso Geológico em um sentido mais amplo do que o proposto por Rose (2001) e Otis e Schneidermann (1997), sem as exigências de um fluxo estabilizado, torna possível a avaliação de recursos prospectivos, mas que são ainda desafios tecnológicos. Este pode ser o caso, por exemplo, de reservatórios de baixíssima permeabilidade em águas profundas.

Considerar a separação entre Sucesso Geológico e Sucesso Tecnológico permite discriminar as chances de sucesso de acordo com o fluido esperado (óleo ou gás não associado), uma vez que diferentes valores mínimos de permeabilidade podem ser considerados para cada caso. Com base nessas definições de sucesso, é possível também caracterizar projetos que são recursos descobertos, mas cuja produção ainda depende de tecnologia, e focar a gestão do portfólio nesse problema específico.

Como descrito no presente trabalho, o Sucesso Comercial é uma variável temporal. Uma dada acumulação com Sucessos Geológico e Tecnológico comprovados poderá ser comercial ou não, dependendo do valor de diversas variáveis à época da avaliação. Isso é extremamente importante porque recursos classificados como contingentes podem ser devidamente caracterizados em termos de requisitos para a comercialidade e, dentro dos prazos permitidos pelas concessões, ser regularmente verificados.

A correlação dos sucessos aqui definidos com a Classificação de Recursos da Guidelines... (2011) torna mais precisa a comunicação entre diferentes profissionais (engenheiros, economistas e advogados) envolvidos na avaliação de riscos de empreendimentos de Exploração e Produção (E&P) da indústria petrolífera.

agradecimentos

Agradecemos à Petrobras a oportunidade de publicar este artigo, resultado de discussões com vários de seus técnicos, em especial André Romaneli Rosa, José Maurício Caixeta, Salvador José Chrispim e Ricardo Defeo de Castro. Esperamos com ele dar continuidade ao trabalho iniciado por Reneu Rodrigues da Silva e Cláudio Bettini. Agradecemos também a Juliano M. Stica pela revisão cuidadosa do texto e pelas sugestões que em muito melhoraram a forma final do mesmo.

referências bibliográficas

GUIDELINES for application of the petroleum resources management system. Texas: Society of Petroleum Engineers, 2011. 222 p.

OTIS, R. M.; SCHNEIDERMAN, N. A process for evaluation exploration prospects. **American Association of Petroleum Geologists**. Tulsa, v. 81, n. 7, p. 1087-1109, July 1997.

ROSE, P. R. **Risk analysis and management of petroleum exploration ventures**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 2001. 164 p. (American Association of Petroleum Geologists. Methods in exploration,12).

expanded abstract

The attractiveness of an exploratory opportunity depends upon the Chances of Success, among other factors. The estimation of such chances is not an easy task, especially for petroleum companies that are faced with huge geological uncertainties in poorly known frontier areas, or with technological challenges in harsh environments such as deep and ultra-deep waters, complex reservoirs, heavy oils or in High Pressure-High Temperature conditions, where unsuccessful exploratory locations can lead to losses to the order of hundreds of millions of dollars.

In this work, a 3-step methodology is proposed to estimate the Chances of Success of an exploratory opportunity. Three chances must be determined: Chance of Geological Success (or Chance of Discovery), Chance of Technological Success (or Chance of Recovery) and Chance of Commercial Success (or Chance of Commerciality).

Geological Success can be defined by the discovery of a significant amount of petroleum (oil, gas, condensate or hydrates) inside a reservoir rock, confirmed and characterized by electric logs, sampling, formation tests, kicks or even blowouts. It is considered that it is possible to determine a petroleum pay, be it the gross thickness (sum of all the lithological facies associated with the reservoirs containing hydrocarbons), or a net thickness (sum of the thicknesses of only the best reservoir facies containing hydrocarbons). A significant amount of petroleum means the existence of sufficient evidence to justify efforts to calculate the volume of oil in place, and the potential volume economically recoverable. In this definition of Geological Success, the requirement of an established flow of petroleum from the reservoir into the discovery well is not included.

Certain cases are not considered Geological Successes, such as: discovery of reservoirs presenting only shows of oil and gas, with residual saturations of hydrocarbons or reservoirs containing fizz water (formation waters containing small concentrations of dissolved gas, similarly to carbonated waters). The present definition of Geological Success is invariable with time because the existence of a petroleum pay once determined will not fade away with time. Obviously, the advances in technology could lead to the increase or decrease in

the amount of pay or even the recognition of pay in sections that have been overlooked in the past. One example of this situation was the recognition of pay oil in microbialite reservoirs, in old wells both in Brazil and Angola, overlooked before the use of magnetic resonance electric logs in the evaluation of this special class of carbonate reservoirs, from 2006 onward.

The Chance of Discovery, associated with the Geological Success, can be estimated in the traditional way widely employed in the petroleum industry, which is, separating the risk in several items that are related to the typical description of a petroleum system. Source rock generation productivity, migration, reservoir, retention (seal), geometry of the trap and timing are the six items considered here as fundamental for the existence of a petroleum accumulation associated with a certain petroleum system.

Technological Success is defined as the existence of an accumulation that, at the moment of its discovery, can be put into production with the available technologies, even if not commercially viable. Here, the requirement of flow from the reservoir into the well is included in the definition of Technological Success. Thus, Technological Success is associated with a recoverable volume. The present definition of Technological Success is variable with time, always in the positive or upside direction, because of the constant improvements in the technology of reservoir stimulation and fluid recovery. One example of such situation is the ever increasing recovery factor associated with heavy and very heavy oils by the use of vapor injection, hydraulic fracturing, etc...

The Chance of Recovery, associated with the Technological Success, depends primarily on two factors that control the flow of hydrocarbons: permeability of the reservoir and quality of the fluid. In case of oil accumulations, the quality of fluid refers to its viscosity. In the evaluation of the risk, it is acceptable to use the API (density) of the oil as a substitute for the viscosity parameter. In the case of a gas accumulation, the quality of the fluid parameter must include, for instance, the presence of CO₂. In this specific case, the problem is not the recovery of the fluid but the destination that must be given to the CO₂ that will be produced together with the gas.

Uncertainty in these technological parameters should be represented as probability

distributions. For each one of them, a cutoff value should be established in a way that one can estimate the probability of exceeding that threshold (when considering permeability and viscosity) or not exceeding (when analyzing the CO₂ content). The Chance of Technological Success is equal to the product of these probabilities and the Chance of Geological Success.

Commercial success is the existence of a discovery that is commercially recoverable under given characteristics of reservoir and fluid qualities, and price expectations and the costs and taxes incurred during the production development phase. Uncertainty about the recoverable volume is represented by a probabilistic distribution curve truncated at the minimum commercial volume. A commercial accumulation must be able to allow, at least, the recovery of all the investments, costs and taxes incurred during the production development phase. As such, accumulations with Commercial Success do not necessarily imply the recovery of the exploratory investments. The evaluation parameter is a positive Net Present Value (NPV). For the consideration of Commercial Success, no exploratory costs are considered in the calculation of the NPV, but only the fiscal benefits of such costs. The definition of Commercial Success is variable in time, because of the oscillation in several economic conditions (for instance, price of the petroleum) and the fiscal regime. Commerciality can vary positively or negatively with time. It is a clear temporal variable.

The Chance of Commerciality, which describes the probability of Commercial Success, is estimated in an analogous way to the Chance of Technological Success. It has been extensively described in literature (for instance, Rose, 2011). Based on the uncertainty in the recoverable volume of the potential discovery, the probability that the accumulation produces a volume that exceeds the minimum recoverable needed to deem it as commercial is calculated. The Chance of Commercial Success is equal to the product of this probability and the Chance of Technological Success.

These definitions of the three types of success are also adequate for the evaluation of non-conventional resources, especially when considering the necessity of sophisticated technology for the production of such resources. During the evaluation of shale gas, for instance, in a basin where the occurrence of such resource is not yet known, it would be necessary to evaluate all three types

of risk: geological, recovery and commercial. On the other hand, in a basin where such resource is known to exist, there would be no more geological risk, but for each well evaluation of the risks of recovery and of commerciality is necessary.

The definitions of successes proposed in this work are compatible with the classes of resources proposed by GUIDELINES... (2011). The Chance of Discovery is simply the chance of discovering petroleum, even if not recoverable by present-day technologies, or based on the GUIDELINES... (2011), the chance of upgrading a resource from prospective to contingent or at least to the class of discovered non-recoverable. The Chance of Recovery is the chance of discovering a resource and of producing it, even if not commercially viable by the economic parameters at the time; or based on the GUIDELINES... (2011), the chance of upgrading a resource from prospective to not least than contingent. In most cases of the conventional exploratory situations, the Chance of Discovery roughly equates to the Chance of Recovery. Finally, the Chance of Commerciality is the chance of discovering a commercially recoverable resource; that is, which fulfills the conditions to be considered as a reserve (Guidelines..., 2011). Figure 1 in this work shows the relationships between the chances proposed here and the GUIDELINES... (2011). In that paper definitions, there is no mention of chance associated with the technological question, although the risk of a certain discovered resource not being producible or recoverable is described.

autores

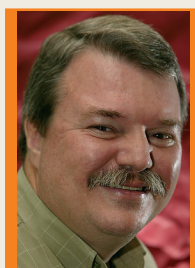


Luciano Arantes Rezende Costa

E&P Exploração
Gestão de Projetos Exploratórios
Planejamento e Gestão do Portfólio
Exploratório

lcosta@petrobras.com.br

Luciano Arantes Rezende é formado em Geologia com mestrado em Geologia Estrutural pela Universidade Federal do Ouro Preto (UFOP) e Economia Mineral pela Colorado School of Mines (CSM). Ingressou na Petrobras em 1987. Trabalhou inicialmente no acompanhamento geológico, com locações exploratórias e na interpretação regional de bacias. Desde 1988, dedica-se à avaliação de oportunidades exploratórias, ao desenvolvimento de sistemas relacionados à atividade de portfólio e ao ensino das melhores práticas na área de análise de risco exploratório.



Pedro Victor Zalán

ZAG Consultoria em Exploração de
Petróleo

pvzalan@uol.com.br

Pedro Victor Zalán é formado em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 1977), mestre e doutor em Geologia (1983, 1984 respectivamente) pela Colorado School of Mines (CSM). Ingressou na Petrobras em 1978 onde exerceu os cargos de Geólogo de poço, geólogo exploracionista, coordenador de projetos, gerente de setores de exploração e instrutor de cursos internos e externos. De 2004 a 2012 exerceu a função de consultor sênior da Companhia para Exploração nas bacias petrolíferas nacionais e internacionais. Como professor da Universidade Petrobras, ministrou cursos nas áreas de tectônica, geologia estrutural, análise de bacias e exploração em águas profundas/ultraprofundas. Aposentou-se da Petrobras em 2012 e desde então atua como consultor independente através da ZAG Consultoria em Exploração de Petróleo.



Luciane Pierri de Mendonça Nobre

Tecnologia da Informação e
Telecomunicações
TIC Exploração e Produção
Soluções de Negócio de E&P

lucianenobre@petrobras.com.br

Luciane Pierri de Mendonça Nobre é formada em matemática, com pós-graduação em Business Intelligence pela Pontifícia Universidade Católica (PUC) e Pesquisa Operacional pelo Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada (IMPA). Em 1986, iniciou sua atuação na área Internacional (Braspetro), como Analista de Sistemas. Desde 1993, trabalha com foco no “cliente Exploração”. Por cerca de 7 anos trabalhou junto à equipe do Sistema Integrado de Geologia e Geofísica (SIGEO), quando teve oportunidade de entender muitos aspectos que estão envolvidos no acompanhamento geológico de um poço. Participou no projeto de criação da base de dados de Exploração e Produção (E&P), que integrou sob um mesmo modelo lógico e tecnologia de banco de dados, informações das seguintes áreas de negócio: Exploração, Engenharia de Poço, Reserva e Reservatório, Produção. Desde 2004 coordena o desenvolvimento do Sistema Integrado de Planejamento e Acompanhamento Exploratório (SIPLEX).