



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

UTILIZAÇÃO DE MODELOS DEA DE AVALIAÇÃO CRUZADA NA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE CAMPOS DE PETRÓLEO

Pauli Adriano de Almada Garcia, D.Sc.

Petrobras/CENPES

Av. Horácio Macedo, Cidade Universitária, Ilha do Fundão

Rio de Janeiro/RJ, CEP: 21941-598

pauliadriano@gmail.com

Carlos Magno Couto Jacinto, M.Sc.

Petrobras/CENPES

Av. Horácio Macedo, Cidade Universitária, Ilha do Fundão

Rio de Janeiro/RJ, CEP: 21941-598

cmcj@petrobras.com.br

Resumo

O presente trabalho apresenta uma aplicação em duas etapas de modelos de Avaliação Cruzada, baseados em Análise Envoltória de Dados, para seleção de alternativa tecnológica para desenvolvimento de um campo de petróleo. A aplicação em duas etapas justifica-se, pois diferentes disciplinas devem ser consideradas na análise comparativa entre as tecnologias. Cada disciplina deve ser avaliada considerando-se diferentes critérios, sendo estes analisados com base em estimativas de probabilidades, baseadas numa tabela de índices, assim com em estimativas para os impactos associados, também estabelecidos com base numa tabela pré-estabelecida de índices. Com base nos índices de risco, será aplicado um modelo DEA para estabelecer uma priorização com base nos critérios de cada disciplina. Os níveis das eficiências obtidas para as disciplinas serão alocados num segundo modelo DEA, que estabelecerá as eficiências das alternativas e, conseqüentemente, uma ordem de prioridade entre as mesmas.

Palavras-ChaveS: DEA, Desenvolvimento de Campo de Petróleo, Riscos Tecnológicos.

Abstract

In this paper one presents a two step Cross Efficiency, based on Data Envelopment Analysis approach to the selection of technological issue to oil field development. The two step application was done because different discipline must be considered, and each of them has many criteria to be evaluated. Those criteria are analyzed by mean of risk indexes, which considers an index related to the probability of occurrence and another related to the impact of the criteria. Both indexes are previously tabled. Based on the risk indexes, a DEA model is adopted to compare the criteria of each discipline. The DEA-efficiencies established to the

disciplines are considered on another DEA model which will compare, finally, the issues among them.

Keywords: DEA, Oil Field Development, Technological Risks.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um campo de petróleo, além de intensivo em capital, possui um perfil de maturação longo, ou seja, a amortização dos investimentos se dá em longo prazo. Além disso, apresenta outros aspectos importantes com a exposição total ao risco, que deve ser quantificada. O risco do projeto é visto como o somatório do risco tecnológico, dos riscos financeiro, político, de mercado etc. A escolha da tecnologia a ser utilizada no projeto é de suma importância, assim como a quantificação de seus impactos no negócio em si [1].

Neste trabalho será apresentada uma abordagem baseada em análise envoltória de dados (DEA – “*Data Envelopment Analysis*”) com o intuito de se estabelecer, a priori, uma ordem de prioridade entre diferentes tecnologias vislumbradas para um determinado projeto de exploração de um campo de petróleo.

A análise envoltória de dados teve seu início em 1978 quando Charnes, Cooper e Rhodes [2], estenderam os conceitos de medida de eficiência introduzidos por Farrell [3], que considera que um único insumo é utilizado para gerar um único produto. Na modelagem por eles apresentada, uma combinação de insumos é utilizada para gerar uma combinação de produtos. Estes insumos e produtos são ponderados de modo a obter-se o que se denominam insumo e produto virtuais [4].

$$\text{Eficiência Técnica} = \frac{\text{Soma ponderada dos produtos}}{\text{Soma ponderada dos insumos}} \quad (1)$$

Nesta análise, um conjunto de pesos deve ser definido de modo a maximizar a eficiência da unidade sob análise, doravante denominada Unidade Tomadora de Decisões (DMU).

2. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A análise envoltória de dados (DEA) é um método de ponto extremo, onde se avalia cada DMU com a melhor das DMUs, sendo, portanto, denominado um método de medida de eficiência relativa.

A principal suposição adotada em uma abordagem como a supracitada é que, se uma DMU i é capaz de produzir Y unidades de produto com X insumos, então outras DMU deveriam estar também aptas para fazer o mesmo se elas estivessem operando com eficiência [5].

Uma análise via DEA é baseada em programação matemática para a aferição do desempenho de DMU quando da presença de múltiplos fatores de entrada e saída, para os quais “não se pode”, a priori, atribuir pesos.

A modelagem matemática proposta por Charnes, Cooper e Rhodes [2] é apresentada nas equações 2 – 5.

$$\text{Max } h_0 = v^t y_0 \quad (2)$$

t.q.

$$u^t x_0 = 1 \quad (3)$$

$$v^t Y - u^t X \leq 0, k = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$u, v \geq 0 \quad (5)$$

onde:

h_0 : é a eficiência da DMU₀;

v^t : são os pesos associados aos outputs;

u^t : são os pesos associados aos inputs;

y_0 : vetor com os níveis dos outputs da DMU₀;

x_0 : vetor com os níveis dos inputs da DMU₀;
 X : Matriz com os níveis dos inputs das demais DMU;
 Y : Matriz com os níveis dos outputs das demais DMU.

De modo a medir a eficiência de cada uma das unidades de tomada de decisão levantadas, uma fronteira de eficiência é estabelecida com os dados observados de cada DMU. Todas as DMU envoltas por esta fronteira terão suas eficiências medidas de forma semelhante à apresentada na Figura 2.7, sendo que no presente caso ter-se-á uma combinação entre múltiplos inputs e outputs, conforme simplificado na Figura 1, que é uma representação da medida de eficiência de Dabreu e Farrel [3].

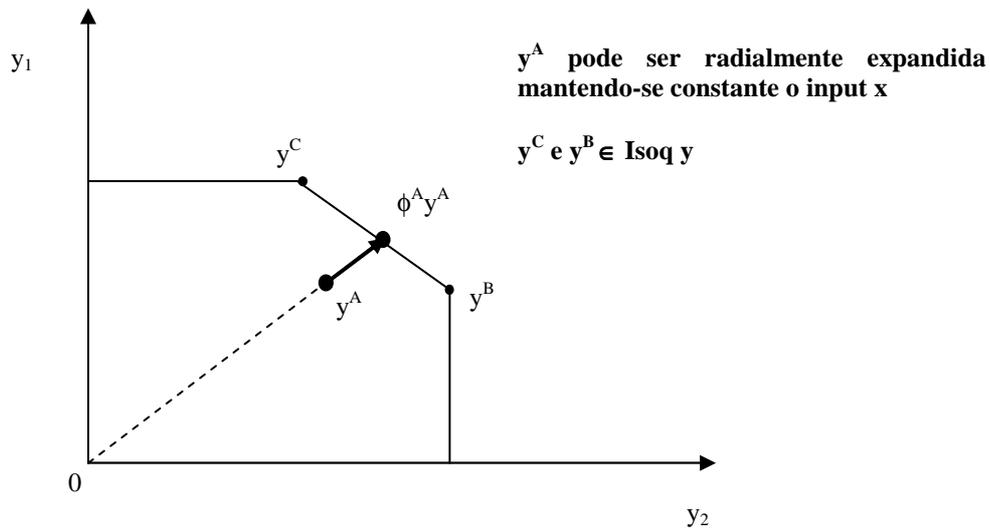


Figura 1: Medida de eficiência técnica de Dabreu e Farrel (DF) orientada para output

3. SELEÇÃO DE TECNOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE CAMPOS DE PETRÓLEO

Num contexto onde se pretende estabelecer uma ordem de prioridade entre diferentes tecnologias para exploração de campos de petróleo, diferentes disciplinas devem ser consideradas. No presente caso estas disciplinas são: (i) reservatório; (ii) poços; (iii) elevação e escoamento; (iv) instalações submarinas; (v) engenharia naval; (vi) instalações de superfície e (vii) gerenciamento de projetos.

Cada uma das disciplinas supracitadas será avaliada de acordo com alguns critérios de risco, específicos às mesmas. A disciplina Reservatórios será avaliada considerando-se 16 critérios, a disciplina Poços será avaliada considerando-se 23 critérios, a disciplina Elevação e Escoamento será avaliada considerando-se 16 critérios, a disciplina Engenharia Naval será avaliada considerando-se 13 critérios, a disciplina Instalações de Superfície será avaliada considerando-se 13 critérios, e a disciplina Gerenciamento de Projetos será avaliada considerando-se 22 critérios.

Os critérios de cada disciplina serão pontuados de acordo com uma escala de risco. Este risco consiste do produto entre um índice associado à probabilidade de ocorrência do critério considerado e um índice associado ao impacto da ocorrência do critério sob análise. Esses índices são previamente tabelados, de acordo com a organização, conforme as tabelas 1 e 2.

Os índices finais de risco podem ser divididos em dois grupos, um grupo associado às ameaças ao projeto e ou outro associado às oportunidades para o projeto. Os riscos associados às ameaças recebem sinal positivo, enquanto que os riscos associados às

oportunidades recebem um sinal negativo. Após o estabelecimento dos graus de risco para cada disciplina de cada alternativa, os mesmos devem ser somados, encontrando assim um grau de risco final. Este grau de risco final deve ser comparado entre as diferentes alternativas sob análise, onde quanto menor o grau de risco final, melhor.

Tabela 1: Índices associados à probabilidade de ocorrência

Descrição da probabilidade	Valor a ser utilizado
Muito Baixa	10%
Baixa	30%
Média	50%
Alta	70%
Muito Alta	90%

Tabela 2: Índices associados aos impactos

Descrição do impacto	Valor a ser utilizado
Muito Baixo	0,05
Baixo	0,1
Médio	0,2
Alto	0,4
Muito Alto	0,8

A abordagem mencionada acima é a que vem sendo utilizada atualmente para se realizar uma análise a priori das tecnologias a serem consideradas. Conforme mencionado anteriormente, no presente trabalho serão aplicados modelos baseados em análise envoltória de dados para se estabelecer uma priorização entre as tecnologias.

4. ESTUDO DE CASO

No presente estudo de caso, serão comparadas oito (A-H) diferentes tecnologias. Cada uma delas será avaliada, conforme previamente mencionado, considerando-se uma aplicação em duas etapas do modelo DEA-CCR de avaliação cruzada. Na primeira etapa é estabelecida uma ordem de prioridade entre as disciplinas de cada tecnologia, considerando-se os critérios de risco associados a cada uma delas. Posteriormente, com base nos níveis de eficiência calculados para cada disciplina, será realizada uma segunda etapa de simulação, onde será estabelecida uma ordem de prioridade entre as tecnologias.

Os índices de risco associados às ameaças serão tratados como insumos, e os considerados como oportunidades serão tratados com produtos. Esta abordagem de modelagem se justifica por deverem ser o mínimo possível os riscos associados às ameaças, e o máximo possível os riscos associados às oportunidades.

Para o caso em que, numa determinada disciplina, não sejam levantados nenhum risco de oportunidade, será considerado um rico *dummy* com valor igual para todas as tecnologias.

Nas tabelas (Anexo I) estes índices de riscos serão diferenciados pelo sinal, ou seja, se positivo então o risco representa uma ameaça, se negativo então o risco representa uma oportunidade.

Deve-se notar que, tendo em vista o elevado número de insumos e produtos, em detrimento do reduzido número de DMU a serem comparadas, é de se esperar um fraco poder discriminatório dos modelos DEA convencionais[6]. Para evitar este problema, os modelos serão baseados numa abordagem por avaliação cruzada.

Nesta abordagem, o modelo avalia cada DMU segundo o esquema de pesos ótimos das demais DMU; que foram obtidos por meio do modelo DEA convencional [6].

Matematicamente falando, a modelagem para a abordagem baseada em avaliação

cruzada dá-se da seguinte forma:

$$\max \sum_j \left(v_{kj} \sum_{s \neq k} Y_{sj} \right) - \sum_i \left(u_{ki} \sum_{s \neq k} X_{si} \right) \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_i X_{ki} u_{ki} = 1 \quad (7)$$

$$\sum_j Y_{kj} v_{kj} - E_{kk} \sum_i X_{ki} u_{ki} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_y Y_{sy} v_{ky} - \sum_x X_{sx} u_{kx} \leq 0 \quad \forall s \neq k \quad (9)$$

$$u_{kx} \text{ e } v_{ky} \geq \varepsilon \quad (10)$$

Onde i e j são os respectivos insumos e produtos.

Uma vez determinado o esquema de pesos e as eficiências cruzadas, constrói-se uma matriz da seguinte forma:

Tabela 3: Matriz de eficiência cruzada

	1	2	...	N
1	E ₁₁	E ₁₂	...	E _{1N}
2	E ₂₁	E ₂₂	...	E _{2N}
...
N	E _{N1}	E _{N2}	...	E _{NN}
	e ₁	e ₂	...	e _N

Nesta matriz, e_i é a eficiência média da DMU i, onde esta média é calculada com base nas eficiências cruzadas, obtidas pelo modelo acima mencionado.

Aplicando a modelagem acima, obtém-se o seguinte resultado:

Tabela 4: Matriz de eficiência cruzada para as tecnologias sob análise

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	100	93.75	93.75	93.75	93.75	93.75	93.75	93.75
B	74.38	100	99.1	99.1	99.1	99.1	99.1	99.1
C	83.33	85.71	100	100	63.89	63.89	100	100
D	83.33	85.71	100	100	63.89	63.89	100	100
E	100	100	100	100	100	100	100	100
F	87.28	95.02	94.17	87.84	93.67	100	94.17	94.17
G	91.31	98.68	100	94.26	94.26	100	100	100
H	91.31	98.68	100	94.26	94.26	100	100	100
e _i	88.87	94.69	98.38	96.15	87.85	90.08	98.38	98.38

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que as tecnologias mais eficientes e que merecem ser estudadas com mais detalhes pelo tomador de decisões são: (i) C; (ii) G; e (iii) H. Ambas as tecnologias mencionadas obtiveram índices de eficiência iguais a 98.38.

Conforme mencionado anteriormente, as medidas das eficiências por disciplina serviram para compor o modelo de avaliação final, cujo resultado encontra-se na tabela 4.

5. CONCLUSÕES

Ao longo do presente artigo pode-se perceber o potencial da utilização de

CR4	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
CR5	0.12	0.12	0.12	0.06	0.06	0.06	0.12	0.12
CR6	0.06	0.12	0.06	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06
CR7	0.03	0.12	0.06	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06
CR8	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
CR9	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
CR10	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
CR11	-0.02	-0.01	-0.02	-0.04	-0.04	-0.04	-0.02	-0.02
CR12	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
CR13	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08
CR14	-0.12	-0.12	-0.12	-0.06	-0.06	-0.06	-0.12	-0.12
CR15	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
CR16	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12

Tabela A2: Índices de riscos associados aos critérios da disciplina poços

	A	B	C	D	E	F	G	H
CP1	0.2	0.1	0.09	0.09	0.16	0.16	0.09	0.1225
CP2	0.04	0.2	0.12	0.12	0.12	0.14	0.14	0.14
CP3	0.2	0.005	0.02	0.02	0.09	0.09	0.02	0.02
CP4	0.12	0.08	0.1	0.1	0.15	0.15	0.1	0.1
CP5	0.04	0.1	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
CP6	0.12	0.05	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
CP7	0.05	0.1	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
CP8	0.05	0.1	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
CP9	0.08	0.02	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CP10	0.1	0.015	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
CP11	0.015	0.06	0.045	0.045	0.06	0.06	0.045	0.045
CP12	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
CP13	0.005	0.1	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
CP14	0.005	0.1	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
CP15	0.05	0.02	0.03375	0.03375	0.03375	0.03375	0.03375	0.03375
CP16	0.01	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
CP17	0.072	0.005	0.02125	0.02125	0.02125	0.02125	0.02125	0.02125
CP18	0.005	0.05	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225
CP19	0.12	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
CP20	0.04	0.005	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
CP21	0.03	0.005	0.015	0.015	0.01875	0.01875	0.015	0.015
CP22	0.005	0.03	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
CP23	0.02	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>dummy</i>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tabela A3: Índices de riscos associados aos critérios da disciplina elevação e escoamento

	A	B	C	D	E	F	G	H
CEE1	0.1	0.56	0.28	0.36	0.36	0.28	0.28	0.28
CEE2	0.1	0.56	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
CEE3	0.1	0.56	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CEE4	0.24	10^{-5}	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
CEE5	0.01	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CEE6	0.09	0.36	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
CEE7	0.18	10^{-5}	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
CEE8	0.72	10^{-5}	0.36	0.36	10^{-5}	10^{-5}	0.36	0.36

Tabela A5: Índices de riscos associados aos critérios da disciplina instalações de superfície

	A	B	C	D	E	F	G	H
CIS1	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
CIS2	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
CIS3	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
CIS4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CIS5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CIS6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CIS7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CIS8	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CIS9	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
CIS10	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
CIS11	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
CIS12	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
CIS13	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
<i>dummy</i>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tabela A6: Índices de riscos associados aos critérios da disciplina gerenciamento de projetos

	A	B	C	D	E	F	G	H
CGP1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
CGP2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
CGP3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CGP4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CGP5	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CGP6	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CGP7	0.2	0.12	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CGP8	0.28	0.1	0.2	0.06	0.24	0.2	0.2	0.2
CGP9	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
CGP10	0.28	0.06	0.1	0.1	0.56	0.56	0.1	0.2
CGP11	0.06	0.24	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
CGP12	0.03	0.28	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CGP13	0.14	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
CGP14	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CGP15	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CGP16	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CGP17	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
CGP18	0.14	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
CGP19	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
CGP20	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
CGP21	-0.4	-10^{-5}	-0.2	-0.2	-0.06	-0.06	-0.2	-0.2
CGP22	0.4	-10^{-5}	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2

As disciplinas que não apresentarem nenhum critério com índice de risco negativo, que seria considerado seu valor positivo com output do modelo, será atribuído às mesmas um critério *dummy* com valor igual a -1.