

---

INOVAÇÃO E TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA: ABORDAGEM COMPLEXA COM  
CONTEÚDOS NEO-SCHUMPETERIANOS – O CASO DA PETROBRAS PARA O PERÍODO  
2007-2011

Fred Leite Siqueira Campos\* ; Diogo Augusto Soares Pimenta; Antônio Suerlilton B. da Silva

*Rua Benedito Borges, 122, Ap. 03 – Medicina, Itajubá - MG (\*fredlsc@unifei.edu.br)*

RESUMO

Este trabalho trata de estudo de caso da PETROBRAS à luz da teoria neo-schumpeteriana com a ajuda da Teoria da Complexidade. Aqui é estimada a taxa bruta de inovação da empresa e analisada a dinâmica pela qual o seu paradigma tecnológico é explorado. Destaca-se, a partir da abordagem dinâmica neo-schumpeteriana, a importância dos sistemas de inovação como uma construção institucional que pode impulsionar o progresso técnico. Também, analisa-se a dinâmica econômica não linear na qual a empresa se encontra inserida, que é expressa por meio da matemática dos sistemas complexos. Os cenários microeconômico e macroeconômico considerados são (em muitos aspectos) apenas introdutórios. Conclui-se que as irreversibilidades, a dependência de caminhos e a multiplicidade de equilíbrios (encontradas) são resultados que aproximam a análise evolucionista contida na definição de sistemas de inovação com os resultados encontrados nos estudos complexos.

Palavras-chave: Inovação; Trajetórias tecnológicas; PETROBRAS.

ABSTRACT

The present work is related to a study case of PETROBRAS from the point of view of the neo-Schumpeterian Theory with the Complexity Theory. Here is estimated the crude rate of the company's innovation and analyzed the dynamic by which its technological paradigm is explored. Based on the neo-Schumpeterian dynamic approach, the importance of the system innovation stands out as an institutional building tool which can promote the technical progress. It is also analyzed the nonlinear economical dynamic that the company is inserted, which is expressed by complex mathematical systems. The micro and macro scenarios are considered (in many aspects) only introductory. This work concludes that the irreversibility, the dependence paths and the multiplicity of equilibriums found were results that approximate the evolutionist analyses contained in the definition of innovation systems with the results found in the complex studies.

Key words: Innovation; Technological Trajectories; PETROBRAS.

Área tecnológica: Energia.

## INTRODUÇÃO

A teoria evolucionista neo-schumpeteriana destaca a não linearidade e a instabilidade das mudanças tecnológicas como fontes da variedade e complexidade da dinâmica econômica. O enfoque evolucionário trata a mudança econômica como um processo irreversível, em que o tempo e a dinâmica complexa desempenham um papel essencial na compreensão da mesma (ELLIOTT, 2008; MINNITI, 2013).

A abordagem dinâmica neo-schumpeteriana permite elaborar o conceito de sistemas de inovação como uma construção institucional que impulsiona o progresso técnico. Partindo-se do ponto de vista que a economia é um sistema evolutivo que se encontra submetido sempre a mudanças devido a forças internas (derivadas em graus variados das mudanças técnicas) e externas, torna-se relativamente fácil mostrar (ao menos em forma introdutória) que a análise da dinâmica econômica pode ser expressa por meio da matemática dos sistemas complexos cinéticos.

Nesse sentido, será destacada a importância da inovação tecnológica como um aspecto estratégico da empresa. Também, serão descritos (com a ajuda da Teoria da Complexidade) os fatores sistêmicos (sociais, institucionais etc.) que moldam o comportamento de uma firma. Ainda, será apresentado o conceito de sistema de inovação, com destaque à importância das tecnologias adotadas e suas trajetórias que, em última análise, terminam por caracterizar o estado atual de desenvolvimento e competitividade das economias. Apresentar-se-á o conceito de Complexidade, com destaque para as relações conceituais entre os sistemas complexos e os sistemas econômicos. Dando continuação, será feita uma breve apresentação (sem o intuito de maior aprofundamento) da empresa-alvo do presente estudo (a PETROBRAS). Na sequência, coloca-se um modelo matemático não linear, no qual se pretende integrar a análise evolucionista com os resultados derivados do estudo da complexidade. Também, inferir-se-á o valor da taxa de inovação bruta ( $i$ ), a variável responsável pela dinâmica econômica sistêmica.

## METODOLOGIA OU ESCOPO

Para a demonstração dos resultados desejados, será observado o caso da PETROBRAS. Assim, buscar-se-á estimar a taxa de inovação bruta e verificar-se-á a dinâmica pela qual o paradigma tecnológico da PETROBRAS é explorado bem como as forças econômicas, sociais e institucionais que o moldam. Para tanto, será utilizado um modelo sistêmico neo-schumpeteriano complexo – apresentado em uma equação em diferença-finita não linear.

A estimação da taxa de inovação bruta ( $i$ ) será ponderada pelos valores apresentados pela empresa em questão, no período de 2007 a 2011, de variáveis consideradas as principais influenciadoras no nível geral final da trajetória tecnológica apresentada pela PETROBRAS (CAMPOS, 2005). Todas as variáveis serão consideradas positivas, com exceção dos custos, no computo final do cálculo do valor de  $i$ .

Em termos nacionais, a indústria de petróleo e gás natural teve seu início histórico com a fundação da estatal PETROBRAS, em outubro de 1953. A criação da empresa foi o resultado da campanha popular “o petróleo é nosso” e iniciou suas atividades com o acervo recebido do antigo Conselho Nacional do Petróleo (CNP), que incluía duas refinarias: a de Mataripe (BA) e a de Cubatão (SP). Neste ano, o petróleo e seus derivados já representavam 54% do consumo de energia no país (PETROBRAS, 2012).

Ao longo das últimas cinco décadas, a PETROBRAS tornou-se a maior empresa do Brasil, está presente em 25 países, é a sétima maior empresa de energia do mundo e a mais lembrada na categoria combustível (PETROBRAS, 2012).

A explicação para o sucesso da PETROBRAS parece estar alicerçada em duas bases distintas: a primeira (com base microeconômica) é relativa à eficiência de suas unidades espalhadas por todo o Brasil – nas refinarias, áreas de exploração e de produção, dutos, terminais, gerências regionais e na sua frota petroleira. Além disso, a PETROBRAS é reconhecida pelo esforço de pesquisa em função do seu porte e inserção internacional. Como exemplo deste esforço tecnológico, pode-se destacar o fato de, no ano de 2010 (até o mês de maio), a PETROBRAS ter atingido a marca de 2.000 patentes (nacionais e internacionais) (REVISTA EXAME, 2013) e continuar a ser, destacadamente, a empresa brasileira que mais deposita pedidos de patentes (PETROBRAS, 2012). Alguns dados, relacionados ao porte econômico e financeiro da PETROBRAS, são colocados na tabela abaixo.

Tabela 1: Dados da empresa Petrobrás em 2012.

DADOS	VALOR DE REFERÊNCIA
Receita líquida (em bilhões de R\$)	R\$ 281,00
Lucro líquido (em bilhões de R\$)	R\$ 21,00
Investimentos (em bilhões de R\$)	R\$ 84,00
Acionistas	573.201
Presença global	25 países
Número de empregados	85.065
Produção diária	2.598.300 barris de petróleo* 472.300 barris de gás natural
Reservas	16,4 bilhões de barris** de óleo e gás equivalente
Plataformas de produção	135 (80 fixas; 55 flutuantes)
Refinarias	15
Rendimento das refinarias	2.249.000 barris de derivados por dia
Frota de navios	237 (60 de propriedade da PETROBRAS)
Dutos	31.265 km
Biocombustíveis	7 usinas (5 de produção; 2 experimentais)
Termelétricas	19 usinas***
Energia Eólica	4 usinas
Postos	8.507
Fertilizantes	3 fábricas

\*Barris por dia de petróleo e gás natural liquefeito (GNL)

\*\*Critério SEC (Securities and Exchange Commission)

\*\*\*Apenas termelétricas movidas a gás natural

Fonte: PETROBRAS, 2012.

A segunda explicação de base macroeconômica para o sucesso da empresa advém da proteção e incentivos estatais para a sua edificação. Tratada como empresa estratégica, sempre teve grandes somas de investimentos direcionados às suas pesquisas e laboratórios, bem como à expansão de seus negócios (PETROBRAS, 2012). Por exemplo, Em 2011, a PETROBRAS aplicou R\$ 2,4 bilhões em P&D, um aumento de 41% em relação a 2010 (PETROBRAS, 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pretende-se determinar a forma constitutiva da trajetória tecnológica da PETROBRAS. Para tanto, percorre-se, na sequência desta, as seguintes etapas: a) a estimação do valor da taxa de inovação bruta ( $i$ ) da empresa; e, b) a aplicação do valor estimado de  $i$  a um modelo (teórico) proposto para a geração da curva de exploração de suas oportunidades tecnológicas.

A estimação do valor da taxa de inovação bruta ( $i$ ) da PETROBRAS, que é, conceitualmente, o resultado da soma do valor da taxa de inovação incremental ( $i_i$ ) e do valor da taxa de inovação radical ( $i_r$ ), como em Campos (2005), será empiricamente determinada, neste trabalho, como resultado da média aritmética simples dos valores:  $i_a$  – variação no número de patentes depositadas;  $i_p$  – variação no nível de produção de petróleo e gás natural;  $i_h$  – variação no efetivo total da empresa;  $i_v$  – variação no nível de investimento total;  $i_c$  – variação no custo total de exploração.

$$i = \frac{i_a + i_p + i_v + i_h - i_c}{5} \quad \text{Equação – 01}$$

Com relação ao número total de patentes depositadas ( $i_a$ ), consideraram-se, apenas (destacadamente pelo fato da PETROBRAS ser a maior depositante de patentes endógenas – Brasil) as patentes depositadas junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI, 2012). Esta consideração não influenciará a análise final, pois, buscaram-se, aqui, apenas as variações do número de depósitos da empresa-alvo da pesquisa e os dados de depósitos endógenos bastam para esse fim. Há vários estudos que relacionam, positivamente, o número de patentes depositadas com o grau de desenvolvimento de empresas, por exemplo, Albuquerque (2000); Albuquerque e Cassiolato (2001); Achilladelis (2001); Fernandes et al (2010), entre outros. Os valores em questão foram retirados de busca de patentes do INPI (2012) e seguem à mostra na Figura 1.

Por seu turno, a variação do nível geral de produção de petróleo e gás natural ( $i_p$ ) foi conseguida com os dados fornecidos em PETROBRAS. A mesma é resultado da média aritmética simples da produção bruta de petróleo ( $i_{pp}$ ) mais o nível de variação bruta da produção de gás natural ( $i_{gn}$ ). Os valores da produção bruta de petróleo e de gás natural seguem no Figura 2. Como a produção de petróleo e gás requer (para seu máximo desempenho) de uso de elevada tecnologia (pois, existem extrações, por exemplo, em regiões de alto mar em plataformas móveis, em mares profundos etc.) espera-se que o nível dessa produção total seja responsável (positivamente) por parte do dinamismo tecnológico da empresa.

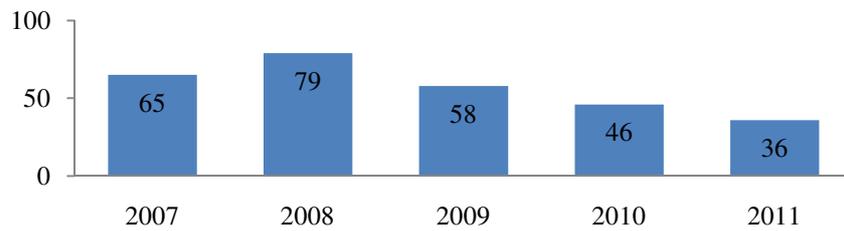


Figura 1: Patentes depositadas junto ao INPI. Fonte: PETROBRAS, 2012.

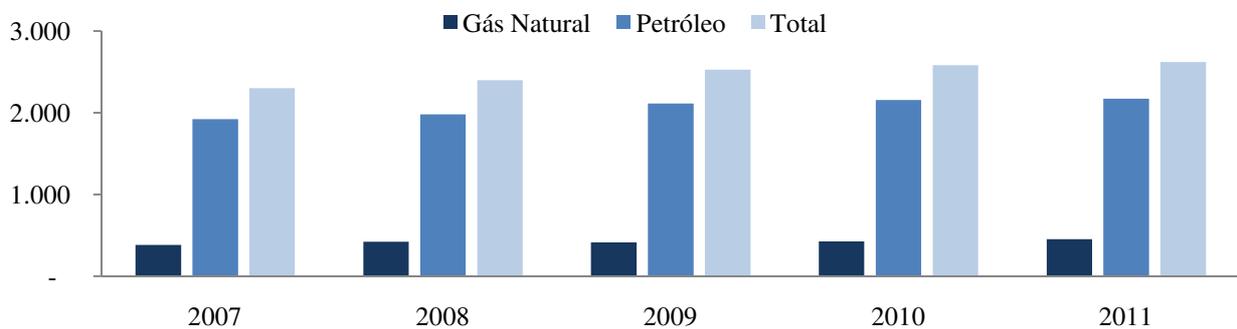


Figura 2: Produção de Óleo LGN, condensado e Gás natural (mil barris). Fonte: PETROBRAS, 2012.

No que concerne à variação no efetivo total da empresa ( $i_h$ ), utilizou-se os dados fornecidos pela PETROBRAS e os valores são encontrados no Figura 5. Aqui, a explicação para o uso dessa variável está relacionada na relação direta existente entre o emprego de mão-de-obra qualificada e o nível de geração de novas tecnologias (HARLEY, 2012).



Figura 3: Efetivo por diretoria - Petrobras Controladora. Fonte: Petrobrás, 2012.

\* Empregados da PETROBRAS Controladora lotados em empresas do Sistema PETROBRAS

\*\*Empregados recém-admitidos participantes de curso de formação na Universidade PETROBRAS

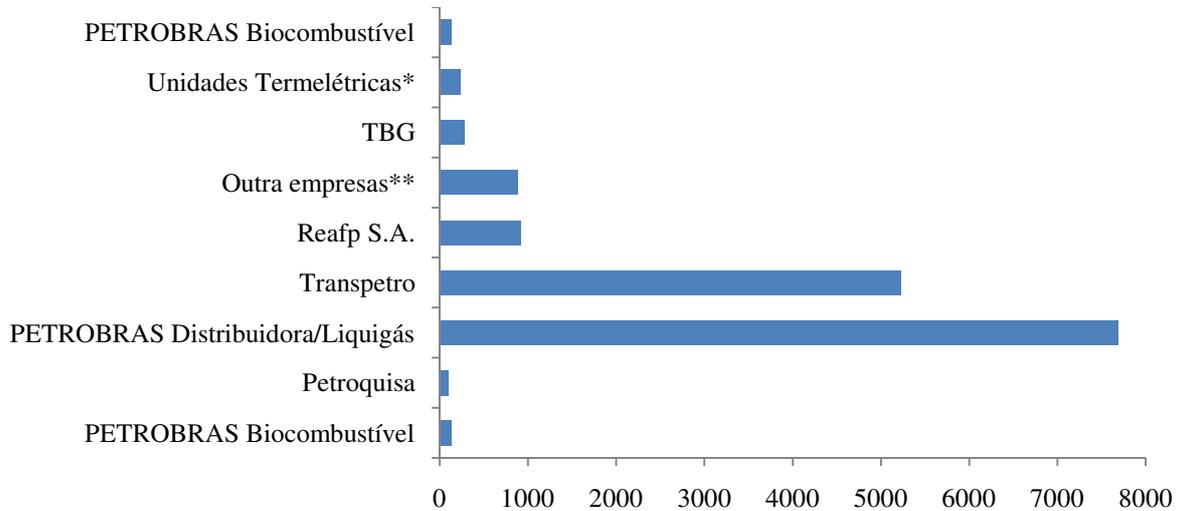


Figura 4: Efetivos controladas. Fonte: PETROBRAS, 2012.

\* Termoçu S.A., Sociedade Fluminense de Energia Ltda., Termomacaé Ltda., Termocerá Ltda.

\*\* Companhia Petroquímica de Pernambuco, Companhia Integrada Têxtil de Pernambuco (Citepe), Ipiranga Asfaltos S.A., Innova, Breitener (Energia; Jaraqui; Tambaqui).

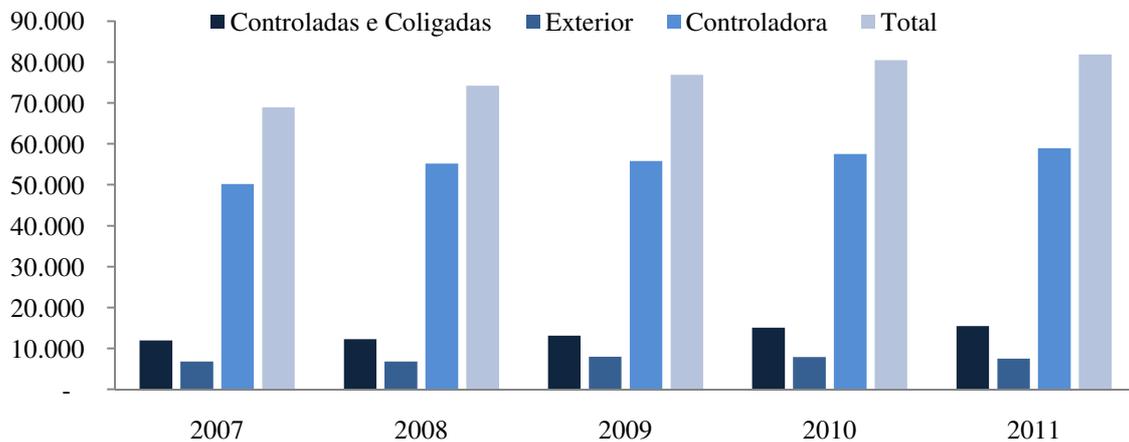


Figura 5: Efetivo. Fonte: PETROBRAS, 2012.

Já a variação do nível de investimentos totais ( $i_v$ ) foi conseguida analisando-se os dados relativos às mudanças totais somadas dos investimentos da PETROBRAS (Figura 6). Níveis de investimentos e geração de inovação já foram “ligados positivamente” em muitos estudos (BAAIJ, 2004; LEE, 2010; HARLEY, 2012).

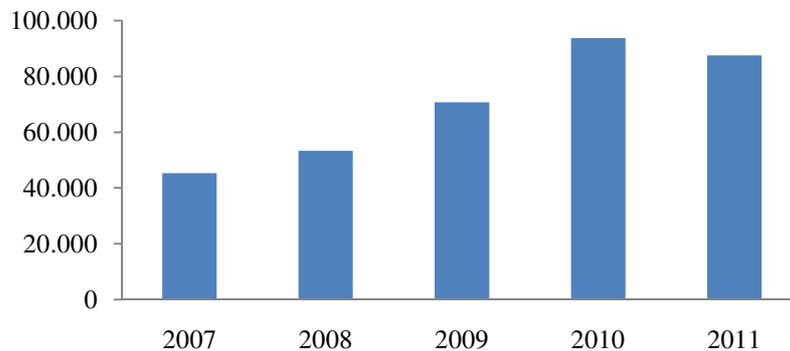


Figura 6: Investimento (R\$ milhões). Fonte: PETROBRAS, 2012.

Por fim, a variação nos custos totais associada à produção de petróleo ( $i_c$ ), foi levantada considerando-se todos os custos relativos à exploração de petróleo, seja no âmbito nacional ou internacional. Os valores seguem explícitos no Figura 7. No cálculo final (estimação) do valor de  $i$ , considerou-se o valor de  $i_c$  negativo, tendo-se em vista que os custos se associam negativamente à capacidade *inovativa* da firma.

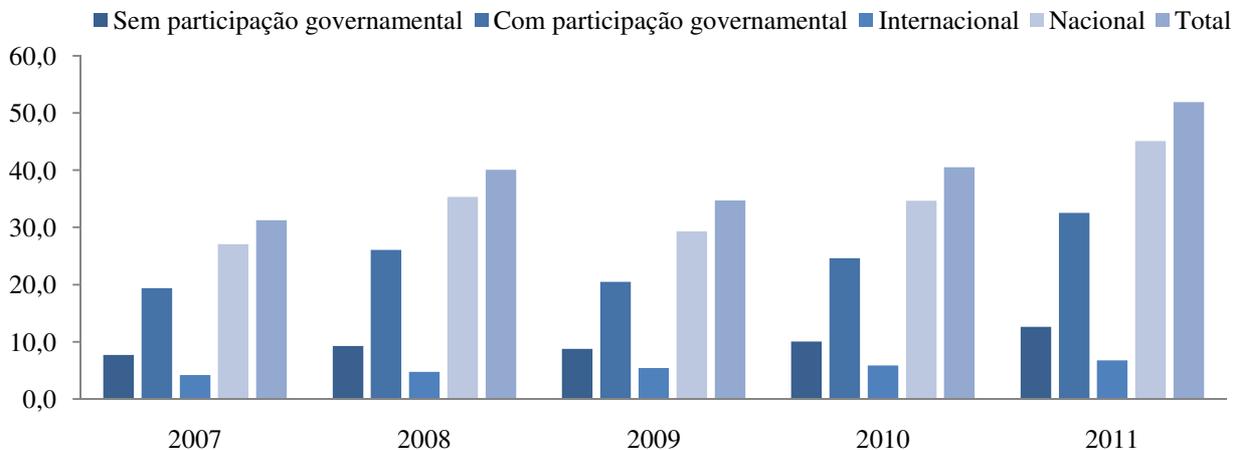


Figura 7: Custo de extração. Fonte: PETROBRAS, 2012.

Por motivos contrários (e já destacados anteriormente), os demais valores ( $i_a$ ,  $i_h$ ,  $i_v$  e  $i_p$ ) entram no cálculo final de  $i$  com ponderações positivas.

Vale destacar, também, que as estimações dos valores das variáveis acima citadas ( $i_a$ ,  $i_p$ ,  $i_v$ ,  $i_h$  e  $i_c$ ), que comporão o resultado da determinação de  $i$ , são todos referentes às variações ocorridas no período de 2007 até 2011.

Porém, metodologicamente, são precedentes à determinação do valor de  $i$ , os cálculos referentes aos valores estimados de:  $i_a$ ,  $i_p$ ,  $i_v$ ,  $i_h$  e  $i_c$ . Esses cálculos serão feitos a seguir e levarão em conta as seguintes determinações:

a) cada um dos valores –  $i_a, i_p, i_v, i_h$  e  $i_c$  (que serão, a partir de agora, tratados de forma genérica por  $i_x$ , ou seja,  $i_x$  representará o cálculo de cada uma das variáveis  $i_a, i_p, i_v, i_h$  ou  $i_c$ , respectivamente) será determinado em duas etapas. Em primeiro lugar, determina-se o resultado do  $i_x$  – o valor médio da variação da variável (em cada caso), por meio da equação 02, colocada a seguir:

$$i_x = \sum \frac{i_x}{5} \quad \text{Equação – 02}$$

Em que:

$\sum i_x$  – é o somatório dos valores brutos anuais (dados) da variável (em cada caso).

b) por fim, cada um dos valores de  $i_x$  será ponderado com relação ao valor inicial da série de dados (chamado de  $i_o$  – valor da variável no ano de 2007, tratado como ano-dado-base), como mostrado pela equação 03, colocada a seguir. Determina-se, assim, o  $i_z$  – que representa o valor final para cada variável  $i_a, i_p, i_v, i_h$  ou  $i_c$  e que será utilizado na equação 01, à determinação de  $i$ .

$$i_z = \frac{i_x}{i_o} \quad \text{Equação – 03}$$

Em que:

$i_o$  – é o valor inicial da série de dados utilizados, para cada variável  $i_a, i_p, i_v, i_h$  ou  $i_c$ .

Deve-se perceber que, os valores finais  $i_z$  serão todos determinados em forma de proporcionalidade (com relação ao valor inicial da série de dados –  $i_o$ ), em cada um dos casos  $i_a, i_p, i_v, i_h$  ou  $i_c$ . Tal comportamento é importante para o modelo dinâmico proposto, pois, explicita a “velocidade” de variação de cada termo estudado.

Ainda, o valor da variação no nível geral de produção de petróleo e gás natural ( $i_p$ ) determina-se pela média aritmética simples da variação da produção de petróleo ( $i_{pp}$ ) com a variação da produção de gás natural ( $i_{gn}$ ), conforme apresentado na equação 04, colocada à frente:

$$i_p = \frac{i_{pp} + i_{gn}}{2} \quad \text{Equação – 04}$$

Os dados finais do  $i_p$  estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2: Valor da variação do nível produção de petróleo e gás – petrobras – 2007-2011

Variável	Descrição	$i_p = \frac{i_{pp} + i_{gn}}{2}$
$i_p$	Variação no nível de produção de petróleo e gás natural	1,0878334

Fonte: Pesquisa direta.

Os valores finais de cada uma das variáveis ( $i_a, i_p, i_v, i_h$  e  $i_c$ , ou seja,  $i_z$  pela generalização apresentada anteriormente) são os apresentados na Tabela 3, colocada a seguir:

Tabela 3: valores dos parâmetros  $i_x$  e  $i_z$  do cálculo da inovação bruta da petrobras – 2007-2011.

Variável	Descrição	$i_x = \sum \frac{i_x}{5}$	$i_z = \frac{i_x}{i_0}$
$i_a$	Variação no número de patentes depositadas junto ao INPI	56,800	0,8738462
$i_h$	Variação no efetivo total da empresa	76.500,000	1,1098055
$i_v$	Variação no nível de investimento total	70.121,000	1,5484377
$i_{cn}$	Variação no custo total de exploração	39,692	1,2697377
$i_{pp}$	Variação no nível de produção de petróleo	2.067,800	1,0769792
$i_{gn}$	Variação no nível de produção de gás natural	418,600	1,0986877

Fonte: Pesquisa direta.

Tabela 4: Valor de taxa bruta de inovação.

Variável	Descrição	$i = \frac{i_a + i_p + i_v + i_h - i_c}{5}$
$i$	Taxa bruta de inovação	0,6700370

Fonte: Pesquisa direta.

Portanto, chegamos ao resultado final da taxa de inovação bruta para a PETROBRAS como sendo estimada em  $i = 0,67$  (aproximadamente). Na próxima etapa, aplica-se o valor de  $i$  encontrado para se gerar a curva de oportunidades (trajetórias) tecnológicas da PETROBRAS. Admitindo-se que a dinâmica de exploração de um determinado paradigma tecnológico seja dado pela seguinte equação em diferença-finita de primeira ordem não linear proposta por Bueno (1996) e descrita pela equação 05 (CAMPOS, 2005):

$$U_{t+1} = (1 + i.T)U_t - i.U_t^2 \quad \text{Equação - 05}$$

Sendo que:

$U$  indica o grau de exploração das oportunidades tecnológicas oferecidas pelo paradigma tecnológico;

$i$  representa a taxa de inovação bruta do sistema;

$T$  é uma constante que indica o grau de oportunidades tecnológicas inerentes a cada paradigma tecnológico.

Além disso, assumindo-se que o grau de exploração das oportunidades tecnológicas de um determinado paradigma é plenamente concretizado quando  $T = 1$  (admitindo-se, assim, a utilização de 100% das oportunidades da tecnologia). Também, considerando, para o caso da PETROBRAS, que  $U_1 = 0,5$  (ou seja, que no momento inicial de verificação da exploração técnica 50% das oportunidades do paradigma já tenham sido exploradas).

Portanto, a dinâmica do sistema, isto é, a forma pela qual o seu paradigma tecnológico será explorado, dependerá da taxa de inovação bruta, que nesse caso é  $i = 0,67$ . Logo, com a substituição, na equação 05, do valor encontrado de  $i$ , a forma constitutiva da equação que

determinará a trajetória tecnológica da PETROBRAS é a apresentada na equação 06, colocada abaixo (CAMPOS, 2005):

$$U_{t+1} = (1 + 0,67)U_t - 0,67 \cdot U_t^2 \quad \text{Equação - 06}$$

Conforme discutido em Albuquerque e Cassiolato (2001) e Bueno (1996) – observações válidas para este e para os parágrafos seguintes, para o valor de  $i = 0,67$ , as explorações tecnológicas apresentam um comportamento sem descontinuidades e há a integralização do paradigma vigente. A Figura 8, mostrada à frente, retrata a dinâmica de exploração integral do paradigma (ou seja,  $T = 1$ , para  $i = 0,67$ ).

Considerando-se que o paradigma tecnológico é plenamente explorado quando se tem que  $U_{t+1} = T$ , a taxa de inovação correspondente ao valor  $i = 0,67$  (linha destacada na Figura 8) permite que se aproveite a totalidade das oportunidades tecnológicas propiciadas pelo paradigma, representado por  $T = 1$ , de maneira rápida, sem oscilações e continuamente. Tal comportamento é o esperado e o existente na “economia real” das explorações tecnológicas apresentadas pela PETROBRAS.

Porém, o comportamento apresentado poderia ser diferente. Admitindo-se, por exemplo, valores de  $i$  entre o intervalo  $0 \leq i \leq 2$  (intervalo em que o sistema apresenta um comportamento sem descontinuidades), o sistema tende a explorar integralmente o paradigma vigente em múltiplos equilíbrios e com velocidades diferentes.

O valor  $i = 0,67$  permite que se aproveitem as oportunidades tecnológicas mais rapidamente do que sob qualquer outra taxa (dentro do intervalo proposto acima). Taxas inferiores, assim como taxas superiores, também permitem a exploração completa do paradigma tecnológico. Mas, por vezes, com um caminho para  $T$  qualitativamente idêntico ao obtido para  $i = 0,67$ , embora quantitativamente mais lento, ou então, produzindo uma dinâmica distinta. Para o caso de  $i = 2$ , por exemplo, é como se o comportamento dos agentes forçasse o sistema acima de suas possibilidades, introduzindo inovações radicais que ainda não têm chance de competir com as técnicas existentes, em razão de não contarem com as externalidades derivadas da introdução conjunta de inovações correlatas, como ocorre quando um novo paradigma tecnológico se afirma, ou então, por não ter havido, ainda, uma influência determinante no comportamento da estrutura dos preços relativos.

Para  $i$  um pouco superior a 2, por exemplo igual a 2,01; o sistema sofre uma bifurcação, isto significa que neste ponto o sistema perde sua estabilidade estrutural (apresentando estabilidade múltipla), ou seja, perde a capacidade de reter as características qualitativas de sua dinâmica anterior passando a oscilar indefinidamente entre os valores  $T = 1,0474$  e  $T = 0,9476$ , conforme mostrado esquematicamente no Figura 9, à frente.

Atingindo-se o ponto de bifurcação, o sistema, dependendo das circunstâncias econômicas, sociais e institucionais pode ir por caminhos distintos. O último caso, que apresenta grau de oportunidade tecnológica menor que uma unidade poderia ocorrer, por exemplo, em razão de uma adesão (em massa) a tecnologias do novo paradigma que depois se revelam não factíveis economicamente, ou por uma incapacidade do sistema de inovação de manter um ambiente favorável ao prosseguimento da exploração do novo paradigma. As irreversibilidades causadas pelo sucateamento de parte do equipamento e a interrupção do processo de aprendizagem (imanescentes ao antigo paradigma) impediriam, nesse caso, o retorno às condições anteriores.

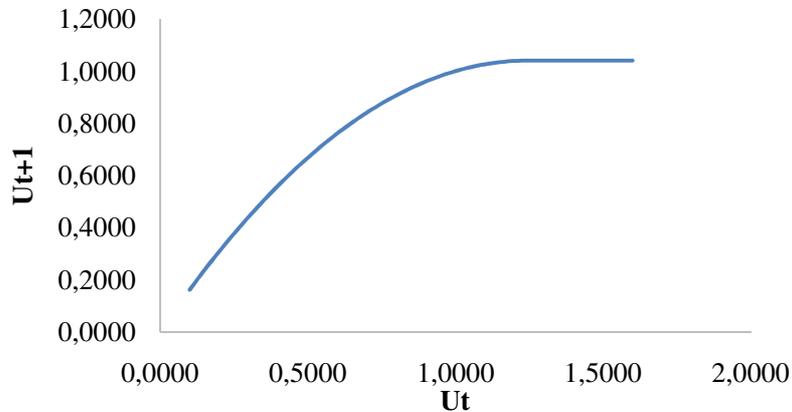


Figura 8: Trajetória tecnológica da Petrobrás. Fonte: Pesquisa direta.

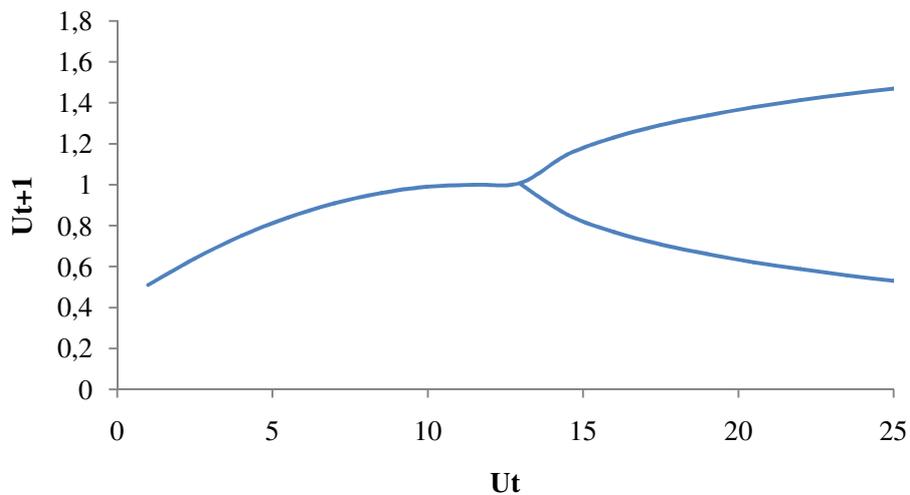


Figura 9: Trajetória tecnológica da Petrobrás. Fonte: Pesquisa direta.

Suponha-se, entretanto, que  $T$  seja 1,0474. Agora, a taxa de inovação bruta que proporciona a exploração mais rápida do novo paradigma, isto é, a trajetória tecnológica mais eficiente, é dada por  $i$  maior que a unidade. O ambiente mais rico em oportunidades, aberto pelo novo paradigma, é compatível com uma taxa de inovação maior. Mas, outro fenômeno interessante acontece. Viu-se que uma flutuação na taxa de inovação bruta acima do nível 2 já era capaz de provocar uma bifurcação; agora este valor crítico é 1,93. Isto poderia significar que o sistema tornou-se mais apto para a inovação, de modo que, nas novas circunstâncias, uma modificação menor na variável de controle  $i$  já é capaz de provocar um novo salto evolutivo.

Para valores de  $i$  maiores ou iguais a 2,5 e menores ou iguais a 2,57; um comportamento muito menos ordenado começa a emergir. Para  $i$  igual a exatamente 2,5; ocorre uma bifurcação dupla. O

sistema passa a oscilar entre os seguintes valores  $U_{t+1} = 1,2250$  e  $0,5359$  e entre  $U_{t+1} = 1,1577$  e  $0,7012$ . Em  $i = 2,55$ , ocorre uma bifurcação quádrupla, e assim por diante, até que para valores superiores a  $2,57$  o comportamento torna-se absolutamente caótico, isto é, aparentemente destituído de qualquer padrão observável.

Nesse sentido, pode-se explicar a dinâmica apresentada pela exploração das oportunidades tecnológicas da PETROBRAS como resultante: a) do monopólio exercido, por décadas, pela empresa (o que lhe assegurou, dentre outros, ganhos de escala); b) o grau microeconômico e macroeconômico de interação da firma com o seu “meio sistêmico” (garantido a empresa a aprendizagem necessária às inovações); e, c) por seus desempenhos apresentados: na geração de inovação (via novas patentes), no treinamento de seu pessoal qualificado, nos investimentos realizados (inclusive em laboratórios e pesquisa e desenvolvimento), e nos níveis crescentes de produção (e produtividade).

Logo, o valor da taxa de inovação bruta ( $i$ ) da PETROBRAS, que foi ponderada como resultado da média aritmética simples dos valores: da variação do número de patentes depositadas ( $i_a$ ); da variação no nível geral de produção de petróleo e gás natural ( $i_p$ ); da variação no efetivo total da empresa ( $i_h$ ); da variação no nível de investimentos totais ( $i_v$ ); e, da variação nos custos totais associados à produção de petróleo ( $i_c$ ), foi de  $i = 0,67$ . Nesse patamar, houve o aproveitamento da totalidade das oportunidades tecnológicas propiciadas pelo paradigma, representado por  $T = 1$  (aqui, por aproximação e simplificação da análise, considerou-se que todas as patentes transformaram-se em inovações), de maneira rápida, sem oscilações e continuamente. Tal comportamento é o apresentado pela PETROBRAS.

Portanto, as explicações para o comportamento das trajetórias tecnológicas da PETROBRAS parecem advir dos vários fatores sistêmicos próprios que circundam a empresa, dentre eles: o monopólio estatal de décadas, os investimentos crescentes e voltados à geração de novas tecnologias (que garantem novas patentes), e ao pessoal treinado e capacitado que forma a firma.

Assim, aplicando-se um modelo matemático de dinâmica não linear e calculando-se o valor da taxa de inovação bruta, pôde-se perceber a forma constitutiva da trajetória tecnológica da PETROBRAS. E mais, pôde-se verificar que sua dinâmica é complexa e dependente dos fatores sistêmicos que a envolvem.

## CONCLUSÃO

Unindo-se os resultados apresentados pela análise da complexidade com as características propostas pela teoria evolucionista (referentes à dinâmica tecnológica no interior dos sistemas de inovação) podem-se sistematizar os resultados da variação das mudanças econômicas reais.

Deve-se lembrar de que, nos sistemas de inovação, os processos passados (no sentido dos caminhos escolhidos para a dinâmica da inovação) tendem a influenciar o presente. Essa característica é conhecida como dependência de caminhos e é percebida pela dinâmica das trajetórias tecnológicas. Além disso, mesmo apresentando um alto grau de especificidades locais, os sistemas podem ter uma multiplicidade de configurações institucionais estáveis, como as apresentadas, no exemplo, que garantiam a estabilidade para os níveis de inovação bruta  $i = 0,67$  ou  $i = 2$ .

O número de estados possíveis de equilíbrio, após uma transição, é maior ou igual ao que existia antes da transição. Por isso, ainda que o estado padrão inicial de equilíbrio seja único, levando-se a uma configuração institucional particular, o número de estados estáveis poderá ser maior que um

após a transição. Essa propriedade é chamada de estabilidade múltipla e pôde ser percebida pelas bifurcações apresentadas pela dinâmica do modelo quando a taxa de inovação bruta foi considerada no intervalo entre  $i = 2$  e  $i = 2,5$ .

Há, ainda, irreversibilidades na dinâmica apresentada pelas mudanças tecnológicas nos sistemas de inovação presentes na impossibilidade de volta a um paradigma técnico anterior. Essa irreversibilidade é resultante das modificações causadas no âmbito econômico, social e institucional pela adoção de uma dada trajetória tecnológica. Assim, os agentes econômicos individuais ao explorarem o ambiente tecnológico (e conseqüentemente o econômico) existente, sob incerteza, acabam por transformá-lo contínua e irreversivelmente.

## REFERÊNCIAS

- ACHILLADELIS, B. The dynamics of technological innovation: the case of the pharmaceutical industry. **Research Policy**, v. 30, n. 4, p. 535-588, 2001.
- ALBUQUERQUE, E. M. Domestic patents and developing countries: arguments for their study and data from Brazil (1980–1995). **Research policy**, v. 29, n. 9, p. 1047 -1060, 2000.
- ALBUQUERQUE, E. M.; CASSIOLATO, J. E. **Less-developed countries and innovation in health**: notes and data about the brazilian casa. Texto para Discussão 156. Belo Horizonte, UFMG, 2001.
- BAAIJ, M. Persistent Superior Economic Performance, Sustainable Competitive Advantage, and Schumpeterian Innovation: Leading Established Computer Firms, 1954–2000. **European Management Journal**, v. 22, n. 5, p. 517-531, 2004.
- BUENO, N. P. Complexidade e evolução: uma nota sobre a estrutura dos modelos neo-schumpeterianos, **Revista Brasileira de Economia**, v. 50, n. 4, 1996.
- CAMPOS, F. L. S. **Inovação, trajetórias tecnológicas e sustentabilidade**: uma introdução à abordagem neo-Schumpeteriana e complexa – o caso da PETROBRAS. In: ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL. 8. ANPEC SUL, 2005.
- ELLIOTT, G.; Timmermann. **Economic Forecasting**, v. 46, n. 1, 2008.
- FERNANDES, A. C. et al. Academy-industry links in Brazil: evidence about channels and benefits for firms and researchers. **Science and Public Policy**, v. 37, n. 7, p. 485-498, 2010.
- HARLEY, C. K. Was technological change in the early Industrial Revolution Schumpeterian? Evidence of cotton textile profitability. **Explorations in economic history**, 2012.
- LEE, J. A. Hidden cost of strategic alliances under Schumpeterian dynamics. **Research Policy**, v. 39, n. 2, p. 229-238, 2010.
- MINNITI, A. A. Schumpeterian growth model with random quality improvements. **Economic Theory**, v. 52, n. 2, p. 755-791, 2013.
- PETROBRAS. Relatório de Atividades (2007-2011). Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/central-de-resultados/>>. Acesso em: 18 out. 2012.
- REVISTA EXAME. Blog. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/blogs/primeiro-lugar/2010/05/18/petrobras-chega-a-2-000-patentes/>>. Acesso em: 05 mai. 2013.