



REESTRUTURANDO AS CADEIAS DA QUÍMICA E DA ENERGIA: A VIA METANOL

Ernesto Pires de Lima Neto¹

Edmar Luiz Fagundes de Almeida²

José Vitor Bomtempo³

RESUMO

Novas arquiteturas das cadeias produtivas estabelecidas podem ser pensadas como formas de responder ao atual ambiente de incerteza. Este artigo explora a possibilidade de reestruturação das cadeias produtivas da indústria química e da energia em torno do metanol. A produção de metanol é flexível em relação à matéria prima: qualquer fonte carbonácea, fóssil ou renovável, pode ser convertida em gás de síntese e daí em metanol. Alguns novos usos como misturas combustíveis, DME, células a combustível e MTP têm grande potencial de crescimento. Além disso, a tecnologia de produção de metanol tem evoluído de forma notável nos últimos anos. O advento de mega-plantas propicia a redução do custo de produção e a utilização do metanol em aplicações energéticas de grande volume. O artigo sugere que o metanol se tornaria uma espécie de "gateway" tecnológico, tornando-se então o ponto focal de estruturação de um conjunto expressivo de cadeias produtivas. Entretanto, diversos obstáculos têm ainda que ser superados para a estruturação desse sistema complexo.

PALAVRAS-CHAVE: Química, Energia, Metanol

1 CEFET Química de Nilópolis – RJ, doutorando EQ/UFRJ, Av N.S. Copacabana, 1194/304, 22070-012, Rio, RJ, ernestopiresquimico@yahoo.com.br, Tel:8111 7889

2 IE/UFRJ, edmar@ie.ufrj.br, Grupo de Economia da Energia, IE/UFRJ, Av. Pasteur, 250 sala 123, 22290-240, Rio, RJ – Tel: 3873-5269

3 IE/UFRJ, EQ/UFRJ, vitor@eq.ufrj.br, Grupo de Economia da Energia, IE/UFRJ, Av. Pasteur, 250 sala 123, 22290-240, Rio, RJ – Tel: 3873-5269



ABSTRACT

New architectures of the traditional productive chains could be seen as a way to deal with the present uncertain environment. This paper explores the methanol as a possible structuring product of a number of productive chains in chemical and energy industries. Methanol production could be flexible regarding raw material sources: any kind of carbon source, fossil or renewable, can be converted to syngas and then to methanol. Methanol market shows some new uses like fuel mixtures, DME, MTO and fuel cells that have a great potential of growth. Moreover, methanol technology has been notably evolving in the last years. The new mega plants allow a very low production cost and so the methanol utilization in great volume energy markets. This paper suggests that methanol could become a kind of technological "gateway" which means a point of convergence of a number of productive chains. Nevertheless, there are still many obstacles, in the technological modules and in the interfaces as well, to be overcome before this new complex system could be implemented.

KEYWORDS: Chemistry, Energy, Methanol

1. INTRODUÇÃO

O ambiente mundial atual apresenta fatos que influenciam diretamente nas indústrias da química e da energia. A segurança de abastecimento é intensamente questionada devido à geopolítica e a evolução imprevisível dos preços das matérias primas como petróleo e gás natural (GN). Observa-se, por exemplo, que o petróleo teve seu preço duplicado no último ano, 2007-2008, caracterizando-se o que poderia ser visto como o terceiro choque. Por outro lado, o efeito estufa, que provoca o aquecimento global, bem como a deterioração da camada de ozônio, devido a contribuição do CO₂ e NO_x respectivamente, produtos da combustão de combustíveis fósseis, vem levando ao endurecimento das restrições ambientais. Em decorrência disto, existem inúmeras dúvidas quanto às formas de organização atual das indústrias de energia e de outras indústrias fortemente baseadas em recursos fósseis, como a petroquímica. Vislumbra-se uma perspectiva de mudanças e de exploração de alternativas, que poderiam emergir futuramente como novas formas estruturais. Esse conjunto de fatos demonstra que os setores de energia e química passam atualmente por



um período, onde se apresenta grande tendência de mudanças. Há ainda o desconhecimento quanto à direção dessas mudanças. Tais fatores indicam um alto grau de incerteza quanto ao futuro destes setores.

Portanto, está aberto o tempo de reorganização arquitetural, busca de novos produtos e quebra de paradigmas tecnológicos e estruturais, que busquem minimizar essas incertezas.

A futura arquitetura poderá ter duas alternativas. A primeira constituída por rotas diretas de transformação de matérias primas em produtos finais e a segunda composta por um sistema tecnológico que possua um produto focal que reestruture as cadeias produtivas atualmente existentes. O ambiente econômico atual apresenta inúmeras incertezas, um arranjo que possua maior flexibilidade terá maior chance de amenizá-las. Por exemplo, tomando-se o processo catalítico de transformação direta de GN em diesel, sem passar por um intermediário. Observa-se que por mais que ele fosse otimizado, uma única matéria prima (GN) produziria apenas um produto final (diesel), o que diminuiria a flexibilidade do sistema, pois teria apenas uma matéria prima e um produto. Quando diversas matérias primas podem produzir um intermediário e esse possui inúmeras aplicações, há um considerável aumento na flexibilidade da arquitetura.

Em vista do cenário apresentado, esse trabalho será construído baseado nas seguintes suposições iniciais:

- Existe a necessidade da busca de novas arquiteturas que respondam aos desafios colocados pelas indústrias da química e da energia, para conseqüente atenuação do nível de incertezas;
- Essa nova arquitetura, para conferir maior flexibilidade ao sistema, precisa conter um gateway, que é um determinado produto para onde convergirão as possíveis matérias primas para sua obtenção e suas aplicações..
- A última suposição é decorrente das anteriores, e baseia-se na afirmação de que um sistema que contenha um intermediário conferirá maior flexibilidade e conseqüentemente diminuirá o grau de incertezas.

A partir das suposições apresentadas serão formuladas perguntas, que facilitem a orientação das reflexões e discussões a serem produzidas nesse trabalho. Tais perguntas poderão, se necessário, serem reescritas fu-



turamente de formas mais precisas ou mais respondíveis. São elas:

- Existe alguma nova arquitetura que possa funcionar como reestruturante nas cadeias produtivas da química e da energia?
- Quais produtos podem agir como intermediários nessa nova arquitetura?
- Qual a contribuição que poderá ser obtida através das flexibilidades existentes?

As investigações preliminares levam a construção de um sistema que pode ter como elemento estruturante duas alternativas: Gás de síntese e metanol. À primeira vista, o gás de síntese se apresenta como um melhor intermediário. Comparado-o com o metanol é fácil se observar que possui flexibilidades idênticas quanto a matérias primas e escalas de produção. Entretanto possui uma flexibilidade muito superior em aplicações, já que é ponto de partida para tecnologias como GTL, Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) e produção de hidrogênio, de estupendas capacidades de crescimento de demanda, que não possuem o metanol como matéria prima. Mas o gás de síntese não se estoca nem se comercializa diretamente, portanto no ponto de vista econômico, pode-se afirmar que o intermediário ideal para esse sistema é o metanol. Por outro lado, a exigência de razões distintas de H₂/CO, como matéria prima para os diferentes processos, não confere ao gás de síntese a flexibilidade encontrada no metanol, que pode ser utilizado como tal em inúmeras aplicações.

A viável utilização do metanol já vem sendo discutida, Olah et alli (2006) em seu livro *The Methanol Economy*, apóia-se principalmente nos aspectos ligados à indústria de energia e às questões ambientais. Esse trabalho mostra as vantagens do metanol como melhor combustível futuro, comparando-o principalmente com o hidrogênio, seu atual principal concorrente. Mapeia também a sua possibilidade de ser obtido a partir de praticamente todas as matérias primas carbônicas fósseis e renováveis e sua ampla gama de aplicações, mas não propõe uma nova arquitetura nas indústrias da química e da energia, diretamente envolvidas em sua abordagem, que coloque o metanol na posição de intermediário. É importante também acrescentar que a mudança de paradigma, observado no aumento das escalas de produção de metanol, com a construção de megaplantas, é um outro ponto que reforça a candidatura do metanol. Daí surge a última pergunta:

- O metanol se apresenta como um possível candidato numa futura reestruturação?

As discussões das respostas às perguntas apresentadas serão desenvolvidas através da avaliação de indicadores qualitativos tais como:

- Flexibilidade nas escalas de metanol
- Flexibilidade nas fontes do metanol
- Flexibilidade dos usos do metanol com multiplicação de seus usos em química e energia

O metanol como confluência das cadeias produtivas de químicos e energéticos pode levar a um novo arranjo das inúmeras rotas tecnológicas disponíveis ou em desenvolvimento nos setores da química e da energia. A Figura 1 ilustra a representação desse arranjo.

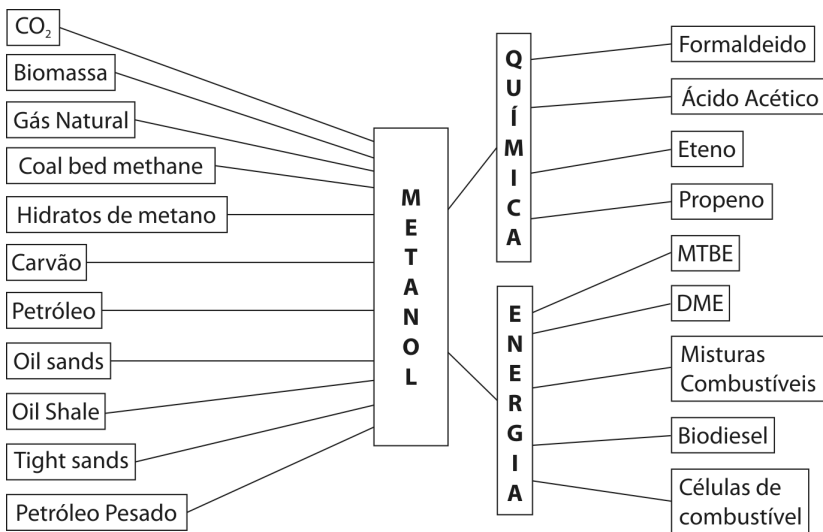


Figura 1 – Matérias primas e aplicações do metanol

Na proposição deste artigo, o potencial do metanol como produto estruturante das cadeias químicas e de energia apóia-se na análise de três fatores inter-relacionados: matérias primas, tecnologias de produção e aplicações potenciais, como ilustrado na Figura 1.

As matérias primas sempre tiveram um papel determinante na evolução da indústria química e em particular no surgimento e desenvolvimento da



petroquímica (Spitz, 1988). As questões que se colocam hoje para a indústria tanto em termos de alternativas fósseis como da introdução de matérias primas renováveis devem ser avaliadas na perspectiva de produção de metanol.

O segundo ponto crítico é o da tecnologia de produção do metanol. Nessa dimensão as inovações de processo que têm permitido grandes aumentos nas escalas das plantas devem ser entendidas como fator crucial para o alcance de pretendidas “megaplantas” de 10.000 toneladas/dia (Methanol, 2007). Essa trajetória de progresso poderia proporcionar reduções de custo fundamentais para viabilizar as aplicações potenciais em química e energia que são vislumbradas para o metanol.

No que se refere às aplicações, será estudada a dinâmica tecnológica de desenvolvimento de inovações, fundamentais para a estruturação do metanol como “gateway” tecnológico, tanto nas cadeias químicas como de energia.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

O presente trabalho explora a idéia de que o metanol poderia se tornar o elemento de estruturação de um conjunto expressivo de cadeias produtivas das indústrias química e de energia, contribuindo para reaproximar e reorganizar as duas indústrias. O metanol se tornaria uma espécie de “gateway” tecnológico. A noção de *gateway*, desenvolvida por David (1988); para explicar a estruturação do setor elétrico, é entendida aqui como o ponto de convergência de uma ou mais cadeias produtivas num só produto, que absorve as sinergias envolvidas e concentra suas potencialidades. Esse produto torna-se então o ponto focal de estruturação de um conjunto expressivo de cadeias produtivas, e sendo um produto químico pode ser chamado também de intermediário.

Esse arranjo com todas as rotas que o compõem constituem um sistema tecnológico. Os sistemas tecnológicos são modulares e cada um deles tem suas características próprias. Cada tecnologia é um módulo, que é conectado a um ou mais outros módulos, através de interfaces. Precisam ser coordenados de modo que todo o sistema flua com a dinâmica necessária, para que juntos possam suprir os produtos desejados com a melhor performance. Não depende somente das tecnologias envolvidas isoladamente em cada módulo, mas também da extensão da compatibilidade entre elas.



Henderson e Clark (1990), argumentaram em seus estudos que as noções de inovações incrementais e radicais não seriam suficientes para explicar os processos de inovação em sistemas cada vez mais complexos e sofisticados. Um sistema é constituído por componentes, as tecnologias utilizadas, e a forma com que estas tecnologias se interligam para formá-lo. As diferenças entre componentes e sistema mostram que há caminhos distintos das inovações em cada um deles e, portanto há a inovação no componente e a inovação no sistema que é chamada de inovação arquitetural. A primeira vai tratar das inovações nas competências inerentes a componente e, a segunda cobrirá as inovações que ocorrem nas relações entre estes módulos. Portanto, este trabalho propõe uma inovação arquitetural, já que provocará uma reordenação em tecnologias, da qual surgirá um novo sistema de produção (cadeia produtiva) de químicos orgânicos e energia. Praticamente todas as tecnologias utilizadas no modelo são isoladamente maduras ou em bom grau de conhecimento.

Num ambiente de incerteza, a busca por flexibilidade é a manutenção de um portfólio de opções, que forneçam o máximo de repostas possíveis em face às variações do meio. Os sistemas tecnológicos estão em constante mutação. Essas mudanças envolvem elementos de conhecida certeza e outros elementos de incerteza. Os elementos conhecidos fazem o sistema operar em condição ótima. Porém, os elementos de incerteza tendem a desestabilizar esta situação e afetar a performance. Flexibilidade então seria definida como a capacidade necessária em fornecer respostas às mudanças no ambiente, de maneira a evitar as perdas de performance (Silva, 2008).

3. ASPECTOS TÉCNICO-ECONÔMICOS DO METANOL E A INTERFERÊNCIA DA ESCALA DE PRODUÇÃO

O Metanol (CH_3OH) é um líquido claro, incolor, volátil, altamente polar com um odor característico. Miscível em água, álcool e éteres. Apresenta reações típicas de álcoois alifáticos. Pode ser também chamado de carbinol, hidróxido de metila, monohidroximetano, álcool metílico e wood alcohol (Methanol, 2007). Sua demanda mundial é de aproximadamente 38 milhões de toneladas em 2007, e deverá continuar com seu crescimento histórico de 4,5% ao ano. A Methanex é o principal fornecedor com aproximadamente 19% do mercado, seguida de longe pela MHTL (Methanol Holdings Trinidad Limited) e Sabic (Saudi Basic Industries Corporation), que tem 8,5% e 7,5% respectivamente (Methanex, 2007).

Atualmente a maioria dos processos de produção de metanol é baseada no gás de síntese, obtido do gás natural, como matéria prima. Os principais processos utilizados na produção do gás de síntese são a reforma auto-térmica (ATR - Autothermal Reforming) ou uma combinação desta com reforma a vapor ou pirólise do metano (SMR- Steam Methane Reforming) chamada de reforma combinada. O gás de síntese entra então num reator, na presença de catalisador, para produzir metanol. O efluente do reator contém ainda 18% de água, metano, etanol, álcoois pesados, cetonas e éteres, separados por processo de destilação, que consiste em uma primeira unidade para remover os leves, e uma segunda que remove água e álcoois pesados. O gás de síntese não reagido é recirculado para o reator, resultando numa eficiência de conversão de 99%. Um fluxograma simplificado é apresentado na Figura 2 (Spath, 2002).

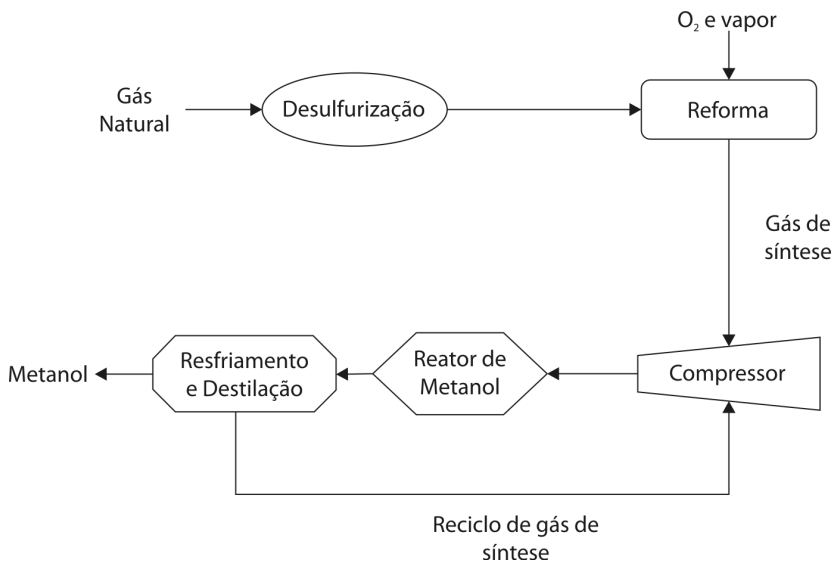


Figura 2: Fluxograma de processo de produção de metanol (Spath, 2002)

Todos os processos de produção de metanol utilizam catalisadores à base de cobre que possuem alta seletividade (aproximadamente 99,5%). Existem duas rotas: uma em fase gasosa, que domina o mercado, e outra em fase líquida, introduzida recentemente pela Air Products (OLAH, 2006). ICI, atual Syntex, e a Lurgi são os maiores detentores de tecnologias em fase gasosa utilizadas no mundo. O reator é em leito fixo, com tubos aquecidos cheios de catalisador (SYNETIX, 2007 e LURGI, 2007)



O desenvolvimento das tecnologias e de suas interfaces é o principal desafio exigido ao sistema baseado em metanol. A busca pelo tamanho de escala eficiente só será possível quando houver uma melhor definição quanto aos seus usos, principalmente na área energética, que contribuirá com maior demanda. Desde os anos 1960, a indústria vem se tornando cada vez mais competitiva e o preço (interferido por oferta, procura e custos de produção, entre outros) e a qualidade regulam cada um dos inúmeros mercados. As empresas buscam diminuir os custos de produção e vão na direção da escolha da matéria prima e na obtenção de economias de escala.

A economia de escala das plantas de metanol tende a seguir a regra de Williams ou regra dos 2/3, comum nas indústrias de processos químicos. Segundo essa regra, os investimentos aumentam proporcionalmente em relação às escalas das plantas segundo um fator de escala da ordem de 0,6. Portanto, se uma planta para 100 tons custa 1000, uma de 200 tons custará por volta de 1500 que é 25% menor que os 2000 que seriam gastos se fossem construídas duas plantas, isto é ganho em escala e diminuição de custo de produção (Spitz, 1987).

Existem 182 plantas de metanol instaladas atualmente no mundo, com capacidade produtiva total de 54.734 MTA (mil toneladas ano). As 20 maiores são listadas na Tabela 1. As plantas com maiores capacidades se encontram localizadas principalmente em Trinidad e Tobago, Iran, Chile e Arábia Saudita (Icis, 2008a), o que torna estes países potenciais locais para a produção mundial de metanol, pois possuem disponibilidade de gás natural, matéria prima utilizada em todas essas plantas (Methanol, 2008). Exceção deve ser feita ao Chile, onde as quatro unidades da Methanex dependem 60% do gás natural oriundo da Argentina, que devido a sua crise energética, em 2007, cortou o suprimento para esta indústria. O desabastecimento foi suprido pela praticamente concomitante entrada em operação das unidades em Trinidad e Tobago e Iran (Icis, 2008b). Conforme a Tabela 1, observa-se que das 20 maiores unidades, 13 entraram em operação nos últimos 10 anos, mostrando a tendência do crescimento das escalas de produção do metanol.



Tabela 1 - As 20 maiores plantas de metanol no mundo (IcIs, 2008a)

Empresa	Localização	Capacidade (MTA)	Início de operação
Methanol Holdings Trinidad Ltd (MHTL)	Point Lisas, Trinidad	1800	2005
Atlas Methanol Co Unlimited	Point Lisas, Trinidad	1700	2004
Zagros Petrochemical Co - (ZPC)	Assaluyeh, Iran	1650	2007
Fanavaran Petrochemical Co	Bandar Imam, Iran	1300	2004
Atlantic Methanol Production Co (Ampco)	Bioko, Equatorial Guinea	1100	2001
Methanex Chile Ltd (unidade III)	Cape Horn, Chile	1065	1999
International Methanol Co - (IMC)	Jubail, Arabia Saudita	1050	2004
Oman Methanol Co LLC	Sohar, Oman	1050	2007
Methanex Chile Ltd (unidade II)	Cape Horn, Chile	1010	1996
Siberian Methanol Chemical Co	Gubakha, Russia	1000	1984
National Methanol Co - (Ibn Sina)	Jubail, Arabia Saudita	950	1984
Methanex Chile Ltd	Cape Horn, Chile	925	2001
Statoil Tjeldbergodden	Tjeldbergodden, Noruega	900	1997
Methanex Trinidad Unlimited	Point Lisas, Trinidad	860	2000
Saudi Methanol Co - (Ar-Razi)	Jubail, Arabia Saudita	850	1997
Saudi Methanol Co - (Ar-Razi)	Jubail, Arabia Saudita	850	1999
Metanol de Oriente SA - (Metor)	Jose, Venezuela	840	1994
Methanex Chile Ltd	Cape Horn, Chile	840	2005
Qatar Fuel Additives Co Ltd - (Qafac)	Mesaieed, Catar	835	1999
Siberian Methanol Chemical Co	Tomsk, Rússia	825	1983

As atuais 182 plantas foram divididas por faixas de capacidade de produção, e são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação das unidades existentes no mundo em função da sua capacidade instalada (Icís, 2008a)

Capacidade por unidade (MTA)	Nº de Unidades	%	Classificação	Capacidade da classe (MTA)	% Capacidade
		Unidades			
acima de 1500	3	1,7	Mega plantas	5.150	9,4
de 1000 a 1500	7		Plantas grandes	29.490	53,9
750 – 999	13				
500-749	19				
Total	39	21,2			
250 – 499	23		Plantas pequenas	20.094	36,7
abaixo 250	117				
Total	140				

Visando facilitar a compreensão do papel da escala na economia do metanol foi feita a seguinte classificação, baseada na capacidade de produção de cada unidade:

- Megaplantas – assim chamadas, por possuírem capacidades produtivas superiores a 1500 MTA;
- Plantas grandes – 1500 – 500 MTA
- Plantas pequenas – Abaixo de 500 MTA

A Tabela 2 mostra a distribuição das plantas segundo a classificação proposta, mantendo as faixas de capacidades, para sua melhor visualização. Observa-se que as megaplantas, apenas 1,7% do número total de unidades, detêm 9,4% da capacidade de produção mundial de metanol, enquanto 76,1% delas, sua grande maioria, as pequenas plantas, são capazes de produzir somente 36,7% da capacidade produtiva. Observa-se interferência das grandes escalas na produção de metanol, assim como a flexibilidade das capacidades produtivas.

Listam-se 130 novos projetos de plantas de metanol (ICIS, 2008). Seleccionaram-se para análise apenas os que estão em estágio de engenharia básica ou de construção, resultando numa amostra de 37 projetos. A maioria destes projetos estão localizados na China, Irã, Malásia, Arábia Saudita e Egito. Posteriormente, foram classificados usando o mesmo critério adotado na Tabela 2, e agrupadas na Tabela 3. Observa-se uma crescente evolução do papel escala, pois as megaplantas com apenas seis unidades, vão contribuir com 39% de aumento da capacidade mundial de produção de metanol.



Tabela 3: Classificação dos novos projetos existentes no mundo em função da sua capacidade instalada (Icis, 2008b)

Classificação	Nº de Unidades	% Unidades	Capacidades MTA	% Capacidades
Mega plantas	6	16,2	10.250	39,0
Plantas grandes	14	37,8	11.900	45,3
Plantas pequenas	17	46	4.135	15,7
Total	37		26.285	

A escala média mundial atual (capacidade de produção total/nº unidades) está na ordem de 301 MTA enquanto nos novos projetos é de 710 MTA, outro dado que aponta a tendência de crescimento das escalas.

Na Tabela 4 são apresentadas as medianas das capacidades das plantas atuais e dos novos projetos mundiais, conforme previamente selecionados, assim como os respectivos quartis.

Tabela 4: Estatísticas básicas das plantas e projetos de construção de plantas de Metanol no mundo (Icis, 2008a e Icis 2008b)

	Plantas em operação (MTA)	Projetos (MTA)
Mínimo	50	50
Quartil 1	60	250
Mediana	165	600
Quartil 3	455	1300
Máximo	1700	1800

Segundo a Tabela 4, a escala da metade das maiores plantas instaladas, está compreendida entre 165 MTA e 1700 MTA. A análise dos projetos para construção de novas plantas mostra um fato que chama a atenção. A mediana, quartil 1 e quartil 3, apresentam capacidades muito superiores nos projetos, o que parece indicar que a tendência atual é de construção de plantas maiores do que as em operação.

Apesar da tendência ao aumento das escalas, observa-se a partir da Tabela 3, que quando se olha o número de unidades em projeto ou construção, há ampla maioria em unidades pequenas e médias. Isso demonstra a flexibilidade de capacidade produtiva na produção do metanol. Pode-se optar por plantas pequenas e grandes, para suprimento da demanda de regiões próximas, como é o caso da China, ou megaplantas, para o suprimento da demanda mundial, como em Trinidad e Irã. O metanol é uma



commodity, portanto qualquer retração de sua demanda em determinada região ou em função de aplicação específica, provocará excedente, que poderá ser facilmente alocado em outra região ou uso, que esteja com aumento de consumo. É possível ainda ajustar o tamanho da jazida à escala, o que propiciará um aumento na flexibilidade do sistema proposto.

Na Europa e nos EUA, a construção de novas unidades praticamente não ocorreu a partir dos anos 1980. Os investimentos em metanol passaram a ser feitos na América Central e do Sul, Oriente Médio e Ásia, em megaplantas, acima de 1000 MTA, pois nestas regiões há grande disponibilidade de gás natural a baixo custo. A China, por outro lado, tem optado por construir um maior número de plantas com capacidades na faixa de 400-600 MTA, objetivando o abastecimento regional, e sua matéria prima é o carvão.

3. MATÉRIAS PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE METANOL

Do ponto de vista técnico, matérias primas, para a indústria química, são quaisquer substâncias sólidas, líquidas ou gasosas, que sob a ação de processos físicos e ou químicos transformam-se em produtos finais ou intermediários (servirão como matérias primas para uma nova transformação). Por exemplo: o petróleo é matéria prima para a produção de nafta, que é matéria prima para a produção de eteno, portanto nesta cadeia a nafta é um intermediário. Para este trabalho define-se como matéria prima apenas a fonte carbonácea da cadeia, como o petróleo no exemplo citado. Todos os outros produtos gerados nas transformações posteriores até se chegar ao produto final, portanto são intermediários ou precursores.

A disponibilidade de produtos, em grande quantidade e a baixo custo, proporcionou sempre um desafio e um grande esforço de utilizá-los como matéria prima ou intermediário para a indústria química. Estes movimentos provocaram o surgimento de novos produtos, novas rotas tecnológicas, novos processos, novos equipamentos, nova logística, novos competidores, nova geografia da indústria, que passaram a estar disponíveis e serem utilizados pelo conjunto desta indústria.

Conforme figura 1, anteriormente apresentada, o metanol pode ser obtido a partir de diversas fontes de carbono, que aqui serão classificadas em três grandes grupos: as fontes de uso tradicional com crescimento histórico (Petróleo e GN), as fontes de uso tradicional com grande crescimento (carvão) e as fontes em desenvolvimento.



Entre as fontes em desenvolvimento, citam-se as seguintes:

Areia betuminosas (oil sands) – são depósitos de areia que contém um óleo altamente viscoso e com alto teor de enxofre, o betume. Estão sendo explorados comercialmente no Canadá (National Energy Board, 2007).

Petróleo pesado – é um petróleo com alta densidade e teor de enxofre e metais, encontrado principalmente na faixa de Orinoco, na Venezuela. Possui projetos com previsão de início de produção em 2011 (PDVSA, 2007).

Xisto – É uma rocha que não se afundou o bastante para ter pressão e temperatura necessárias para a transformação da matéria orgânica nela contida em petróleo. É uma mistura de hidrocarbonetos sólidos betuminosos, que pode ser transformado em óleo. Atualmente seu uso não é economicamente viável (NETL, 2007a).

Gás de carvão (Coalbed methane) – É o metano que se encontra adsorvido pelo carvão em alguns de seus depósitos (U.S. Department Of Energy, 2003).

Tight sands and shales - São formações geológicas com baixa permeabilidade que em alguns casos podem conter GN (World Energy Council, 2007).

Hidrato de metano – Os gases têm a característica de formar hidratos com o gelo, ficando retidos em sua estrutura cristalina. O hidrato de metano é o mais comum deles. Portanto águas profundas de oceanos e lagos frios e oceanos polares são as maiores fontes ainda não exploradas comercialmente (NETL, 2007b).

Gás carbônico (CO₂) – É o principal responsável pelo efeito estufa. Grandes quantidades de CO₂ são produzidas pela combustão de qualquer uma das fontes carbônicas. Estas emissões podem ser capturadas e, se reagidas com hidrogênio produzirão metanol. (Olah et al., 2006).

Biomassa – é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica vegetal ou animal. São principalmente resíduos de beneficiamento de grãos como palha e sabugo de milho, casca de arroz, fezes de animais.

O metanol pode ser obtido, via gás de síntese de qualquer uma destas fontes carbonáceas. Atualmente as matérias primas utilizadas ou



consideradas viáveis para sua produção são carvão, petróleo, gás natural ou biomassa. O metano do gás natural é utilizado em 90% dos processos instalados. Os atuais maiores produtores utilizam de preferência matéria prima chamada *stranded*, que é aquela proveniente de jazidas demasiadamente distantes dos mercados consumidores e/ou sem condições econômicas de exploração, pelas formas convencionais. Isso sugere que o custo do gás natural para produção de metanol, e para os usos de conversão química em geral, não pode estar nos níveis dos preços de mercado do gás para usos energéticos. As plantas industriais são então instaladas próximas às áreas de extração.

Este modelo baseado no metanol propõe uma flexibilização no conceito tradicional de matéria prima única, permitindo que a empresa globalizada, opte de acordo com a sua conveniência como menor custo de produção e transporte ou defesa de posição estratégica. Por exemplo, a Methanex que é a principal produtora mundial de metanol poderia ter mega plantas a base de carvão na China, de petróleo e gás natural no Oriente Médio, de petróleo pesado na Venezuela, de areias oleíferas no Canadá e de biomassa no Brasil. Como sua estrutura é globalizada poderia em qualquer momento, optar ou priorizar os sítios de maior competitividade para o suprimento mundial. É necessário ressaltar que o metanol pode ser facilmente transportado por dutos ou por via marítima, ferroviária ou rodoviária.

Portanto, o novo sistema flexibiliza a escolha da matéria prima diminuindo o enorme grau de incerteza com relação a seus preços. O aumento contínuo do petróleo, gás natural e carvão nos últimos anos, assim como a sua evolução imprevisível é uma constatação inequívoca do alto grau de incerteza, quanto aos preços destas principais fontes fósseis.

Existem obstáculos tecnológicos e econômicos a esta flexibilização. A indústria química tradicionalmente elege matérias primas únicas. A estrutura complexa da indústria procura explorar as vantagens econômicas decorrentes dessa padronização. A mudança do modelo provocará mudanças profundas nesta estrutura. Não é também tradição do setor, investir em tecnologias dispersas, já que elas poderão partir de qualquer uma das fontes. Portanto, a adoção da arquitetura que contempla o metanol como gateway, dependerá destes e de outros fatores decorrentes da flexibilização.

4. APLICAÇÕES DO METANOL

O metanol possui inúmeras aplicações. Podem ser identificadas aplicações tradicionais ou maduras e novas aplicações. As primeiras são baseadas em tecnologias maduras e seu crescimento tende a se alinhar com o nível de atividade econômica. Já as novas aplicações dependem do desenvolvimento de tecnologias que poderão gerar novas demandas para o metanol em áreas até agora não exploradas, inclusive na indústria da energia, o que lhes permite um desenvolvimento imensurável.

Dentro destes dois grandes grupos distinguem-se dois outros tipos de aplicação do metanol: na indústria da química orgânica, como intermediário químico, e na indústria da energia, como combustível ou energético. Esta classificação dos usos do metanol é apresentada na Figura 3.

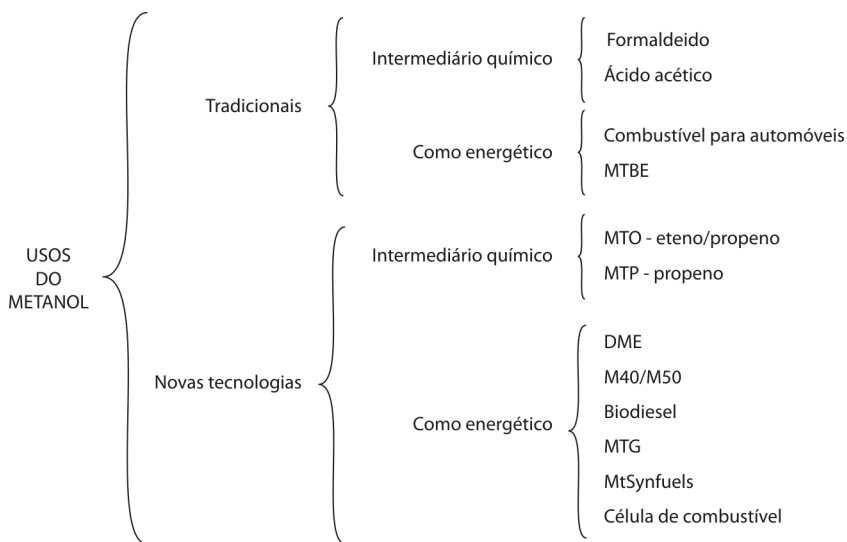


Figura 3 - Classificação dos usos do metanol

As aplicações apresentadas na Figura 3 possuem potenciais de crescimento muito diferentes. Existem produtos estagnados, como o ácido acético e formaldeído, que continuarão com seu crescimento histórico. Outros são potencialmente decrescentes como o MTBE, devido ao seu banimento na mistura com gasolina, para a utilização em combustível de automóveis nos EUA. Há ainda as novas tecnologias, com tendência de grande crescimento, como: MTO, as misturas combustíveis com metanol e DME e as células combustíveis. Esses usos crescentes terão inúmeros desafios a



serem transpostos e o sucesso nessa trajetória será imprescindível para a viabilização deste modelo.

A seguir, as aplicações de metanol serão descritas sucintamente, seguindo a classificação baseada em seu potencial de crescimento.

4.1. Aplicações com crescimento estagnado

Formaldeído e ácido acético são os principais produtos químicos produzidos a partir do metanol. Contribuem com 38% e 11%, respectivamente para a demanda mundial de metanol (Olah, 2006). O formaldeído é utilizado na produção de derivados como etilenoglicol, penta-eritritol, hexametileno tetramina, acetaldeído, ésteres de celulose, resina fenólica e muitos outros produtos orgânicos de grande importância para inúmeras outras cadeias produtivas. Tem aplicação também como preservante de borracha, acelerador no processo de vulcanização, inibidor de corrosão em poços petrolíferos e em tratamento de couros, componente de fertilizantes, fluídos para embalsamamento, biocidas, desinfetantes, anti-transpirantes, desodorantes, corantes, tintas de impressão, adesivos gelatinas e sucos (SRI, 2007). Já o ácido acético é insumo na produção de produtos químicos diversos como acetato de sódio e de vinila, anidrido acético, ácido tereftálico, ácido monocloroacético, perácidos e ésteres frutíferos. Tem uso também na indústria têxtil e do couro, na extração de antibióticos, adesivos, lacas especiais para a indústria aeronáutica, filmes fotográficos, inseticidas e herbicidas (MMSA, 2007).

4.2. Aplicações com crescimento decrescente

O metanol como combustível de automóveis foi utilizado puro e na mistura M85 (85% metanol 25% gasolina), porém seu uso puro foi dificultado devido ao perigo de sua queima produzir chama incolor. Mesmo em misturas apresenta desvantagens como a baixa solubilidade do metanol na gasolina que provoca problemas de separação de fase, e na partida a frio, devido a baixa concentração dos componentes leves da gasolina.

O MTBE é o segundo mais importante derivado do metanol sendo responsável por 20% de sua utilização. Sua principal aplicação é como componente oxigenado na mistura com gasolina, devido a sua alta octanagem e também porque sua combustão produz menor quantidade de poluentes do ar. Possui ainda aplicações como intermediário na produção de isopre-



no e metacroleína, e também como desengraxante. Atualmente o MTBE está sob forte ataque em virtude do seu impacto ambiental, provocado por vazamentos dos tanques de estocagem que contaminaram os lençóis freáticos. Os EUA é seu principal consumidor e põe em prática seu programa de substituição de MTBE por etanol. Esse processo iniciou-se na Califórnia e deve alcançar todos os EUA, provocando uma eliminação de 9,0 milhões de toneladas métricas de MTBE, equivalente a 3,0 milhões de toneladas métricas de metanol, se comparado ao pico de 2000 (CMAI, 2007).

4.3. Aplicações com grande potencial de crescimento

Na química as aplicações emergentes são MTO (methanol to olefins) e MTP (methanol to propylene). Na rota MTO são produzidos eteno/propeno em proporções flexíveis. Existem duas tecnologias a serem licenciadas atualmente no mercado internacional: da UOP (Universal Oil Products)/Hydro Norsk e da ExxonMobil. A via MTP tem o foco na produção de propeno. Vem sendo implementada e licenciada pela Lurgi. A China é o país com maior investimento nas tecnologias MTO e MTP, que partem do carvão. Seus últimos projetos mostram tendência em MTP, devido a atual evolução de demanda mundial de propeno (Tecno Orbichem, 2006).

Em se tratando de energéticos, o DME (dimetil éter) está em desenvolvimento para substituição de diesel e GLP (Niemeyer, 2007). Tem potencial uso combustível em termoelétricas. É um insumo importante na indústria química, na síntese de formaldeído e olefinas (propeno em especial). É estimado que o primeiro grande mercado para DME seja o sudeste asiático em países como Japão, China, Coréia, Índia e Taiwan, com demanda projetada de 105MMTA (milhões de toneladas ano) em 2010 (Trinidad and Tobago News, 2007), que num cálculo estequiométrico é equivalente a 152 MMTA. Considerando rendimento da conversão de 70%, pode-se dizer que serão necessárias 106 MMTA de metanol para sua geração.

A M40 e M50 são misturas de gasolina com metanol, contendo 40 e 50% do álcool respectivamente, que são utilizadas como combustível na substituição da gasolina pura. Esta tecnologia foi aprovada em cidades na China como Shanghai / Jiangsu e tem um potencial de aproximadamente 70 MMTA (Methanex, 2007).

O Biodiesel já é atualmente utilizado em mistura com diesel para substituir o diesel puro como combustível. A transesterificação é o processo



mais utilizado para sua produção, e consiste numa reação química entre óleos vegetais ou gorduras animais e metanol ou etanol, que substitui a glicerina pelo álcool dando origem a monoéster, que é o biodiesel. Na produção de biodiesel, a reação de esterificação consome 12% em massa de metanol, ou seja, cerca de 14 kg de metanol/barril de biodiesel (Biodiesel, 2007).

O MTG – methanol to gasoline- é processo de produção de gasolina via metanol desenvolvido pela Mobil Oil Corporation, que não conta ainda produção industrial.

O MtSynfuels é um processo da Lurgi e consiste na obtenção de olefinas a partir de metanol, com posterior oligomerização, produzindo GLP, gasolina e diesel, e também ainda não é utilizado em processos comerciais.

Uma célula de combustível é uma célula eletroquímica que converte continuamente a energia química de um combustível e de um oxidante em energia elétrica e calor (Kordesch et al., 1996). Existem vários tipos, sendo que na direct methanol fuel cells (DMFC) o metanol reage diretamente com o ar e produz energia elétrica. Até poucos anos atrás essa alternativa era pesquisada e tida como a provável tecnologia para movimentar os automóveis. Atualmente as apostas vão em direção ao desenvolvimento de baterias à base de lítio, com capacidade de serem recarregadas diretamente com energia elétrica (The Economist, 2008). Entretanto, o grande mercado de energia para eletroeletrônicos portáteis como laptops, telefones celulares e máquinas de fotografar e filmar, já vem utilizando novas tecnologias baseadas na DMFC, inclusive já autorizadas para uso doméstico pelo Departamento de Aviação dos EUA, o que abre possibilidade de grande aumento de demanda para o metanol (Karmalic, 2008).

Apenas no sudeste asiático, a nova demanda nas aplicações de metanol como combustível, sua conversão em DME e utilização em misturas como a M40/50, têm como potencial estimado 170MMTA. Esse valor representa mais que quatro vezes a demanda mundial de 2007, o que demonstra a possibilidade de sua vigorosa contribuição futura na economia do metanol. Observa-se também que essa quantidade é infinitamente superior aos projetos de MTO/MTP, o que reafirma o amplo poder do setor energético na decisão dos destinos dessa economia.

O aumento do uso do metanol em grandes volumes, principalmente como energético, é uma condição primordial para a implementação da nova arquitetura proposta nesse trabalho.



6. CONCLUSÕES

Os desafios colocados para as indústrias da química e da energia, para atenuação do nível de incertezas atualmente existentes, levam à busca por novas arquiteturas. Um sistema que contenha um intermediário ou *gateway*, que nessa proposta é o metanol, para onde convergirão as possíveis matérias primas para sua obtenção e suas aplicações, conferirá maior flexibilidade e consequentemente diminuirá o grau de incerteza.

A flexibilidade encontrada no sistema tecnológico baseado no metanol viabiliza a capacidade de responder melhor, ao alto grau de incertezas da economia atual e estão presentes:

- nas matérias primas, já que o metanol pode ser obtido a partir de todas as fontes carbonáceas fósseis ou renováveis disponíveis atualmente.
- no tamanho das escalas, pode-se optar por plantas pequenas e grandes, para suprimento da demanda de regiões próximas, como é a opção da China, ou megaplantas, para o suprimento da demanda mundial, como em Trinidad e Irã. Há ainda a possibilidade de ajuste da escala ao tamanho da jazida o que incrementa o grau de flexibilidade do sistema.
- nas aplicações. Há projeção de grande crescimento de demanda para os energéticos, que também possuem vasta diversidade de aplicações como em misturas com hidrocarbonetos combustíveis, DME, e células combustível. Na química os novos processos: MTO e MTP também poderão provocar crescimento de demanda. Caso alguma previsão de crescimento não ocorra, um setor poderá absorver esta capacidade de produção ociosa do outro, já metanol é uma commodity internacional.

A viabilidade desta proposta está condicionada ao sucesso dessas novas aplicações.



5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Biodiesel O que é biodiesel Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/biodiesel/vantagens/vantagens-biodiesel.htm>. Acessado em dez 2007

CMAI CMAI completes 2008 World Methanol Analysis Disponível em: < <https://www.cmaiglobal.com/Marketing/News/WMA2008.pdf>> Acesso em janeiro 2008

David P The Economics of gateway technologies and network evolution Informaton Economics and Policy, 88v, 165-202p, 1988

Henderson R. M., Clark K. B. Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms Administrative Science Quarterly, Vol. 35, No. 1, Special Issue: Technology, Organizations, and Innovation , 9-30, 1990

ICIS Methanol Plant and Projects Search Disponível em: <<http://www.icis.com/v2/directory/default.aspx>> Acesso em abril 2008

Karmalic J. Autorization for Methanol Powered Laptops And Eletronics pave The Way For The Wider Use, ICIS Chemical Business, 273v, issue 18, 05-11 maio 2008

Kordesch K, Hackerb V And Bachhiesl U. Direct methanol–air fuel cells with membranes plus circulating electrolyte Journal of Power Sources Volume 96, Issue 1, 200-203p, 2001

Lurgi AG Methanol Disponível em:<http://www.lurgi.com/website/fileadmin/user_upload/pdfs/17_Methanol-EN.pdf> Acessado em dezembro 2007

Methanex 2007 Investor Presentation Disponível em:<<http://www.methanex.com/investordocuments/Q2-07IRPresentation-FINAL.pdf#search=capacity.pdf>> Acesso em fevereiro 2008

Methanol Methanol_Expansion_2005-2010 Disponível em: < http://www.methanol.org/pdf/Methanol_Expansion_2005-2010.pdf> Acesso em dezembro 2007

Methanol Global Methanol Capacity - 2006 Disponível em: <<http://www.methanol.org/pdf/WorldMethanolPlantsEndOf2006.pdf>> Acesso em jan/2008

MMSA (Methanol Market Services Asia) Methanol Disponível em: < <http://>



www.methanolmsa.com/exec/sam/view/id=183/node=115/ Acesso em fevereiro 2008

National Energy Board (Canadá). Canada's oil sands, opportunities and challenges to 2015: na update, 2006. Disponível em: http://www.neb9one.gc.ca/energy/EnergyReports/EMAOilSandsOpportunitiesChallenges2015_2006/EMAOilSandsOpportunities2015Canada2006_e.pdf. Acessado em abril 2007

NETL (National Energy Technology Laboratory). Oil Shale Development in the United States. Disponível em: <http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/pubs/Oil%20Shale%20Development%20in%20the%20United%20States%20%20RAND%20August%20200.pdf>, 2005 . Acesso em março 2007a

NETL (National Energy Technology Laboratory). The National Methane Hydrates R&D Program. Disponível em: http://www.netl.doe.gov/technologies/oilgas/FutureSupply/MethaneHydrates/MH_ReferenceShelf/RefShelf.html. Acesso: mar 2007b

Niemeyer M. A. L. Utilização de Publicações Científicas em Estudos de prospecção da Inovação – Caso Dimetil Éter (DME) e sua Aplicação como Combustível Dissertação de mestrado EQ/UFRJ, 2007

Olah G.A., Goepfert A., Prakash G. K. S. Beyond Oil and Gás: The methanol economy. WILEY- VCH: Weinheim, 290p, 2006

PDVSA Faja Petrolífera del Orinoco. Disponível em: <http://www.pdvs.com>. Acessado em março 2007

Spitz P.H. Petrochemicals: The rise of an industry New York: John Willey e Sons. 586p,1988

Tecno Orbichem Technical Business Focus: Methanol Disponível em:< <http://www.orbichem.com/gen/uploads//4hv3erbcbd0wwpy1ypnedxqd25092007143558.pdf>> Acesso em fevereiro 2008

The Economist The Power and the Glory A especial report of energy, junho, 2008

Trinidad And Tobago News, Methanol as fuel, 2007 Disponível em:< <http://www.trinidadexpress.com/index.pl/article?id=161174087>> Acesso em maio 2008



U.S. Department Of Energy Ground Water Protection Research Foundation National Petroleum Technology - Office Bureau of Land Management. Handbook on Coal Bed Methane Produced Water: Management and Beneficial Use Alternatives. 2003. Disponível em: <http://www.allllc.com/CBM/BU/index.htm>. Acesso em março 2007

World Energy Council New Technology For Tight Gas Sands. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/2_1_16.asp#top>. Acesso em março 2007