UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUÍMICA

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos

ANDRÉ LUIZ BERTOLDI OBERZINER

RoadMap Tecnológico para a produção de amônia

RIO DE JANEIRO

Setembro/2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUÍMICA

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos

ANDRÉ LUIZ BERTOLDI OBERZINER

RoadMap Tecnológico para a produção de amônia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos para a obtenção do grau de mestre em ciências (M.Sc.).

RIO DE JANEIRO

Setembro/2016

CIP - Catalogação na Publicação

O12r

Oberziner, André Luiz Bertoldi
RoadMap Tecnológico para a produção de amônia / André Luiz Bertoldi Oberziner. -- Rio de Janeiro, 2016.
171 f.

Orientador: Suzana Borschiver.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2016.

1. RoadMap Tecnológico. 2. Amônia. 3. Síntese de Amônia. 4. Gás de Síntese. 5. Processo. I. Borschiver, Suzana, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

André Luiz Bertoldi Oberziner

RoadMap Tecnológico para a produção de amônia

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências, e executada sob a orientação da Profa. Dra. Suzana Borschiver - UFRJ/EQ.

Aprovada por:

_____

Dr. Marcello José Pio, Unidade de Estudos e Prospectiva - Senai

_____

Dra. Patrícia Carneiro dos Santos, Petrobras

_____

Profa. Dra. Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, UFRJ - EQ

_____

Prof. Dr. Ricardo Carvalho Rodrigues, Instituto Nacional de Propriedade Industrial

Orientada por:

_____

Profa. Dra. Suzana Borschiver, UFRJ - EQ

Dedico a Deus, à minha família, à minha esposa, aos meus colegas de trabalho e às minhas atual e antiga empresas, que me apoiaram e incentivaram ao longo do curso e das pesquisas realizadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por haver concebido os seres humanos como seres inteligentes.

Agradeço a minha orientadora, a professora Suzana Borschiver, que me incentivou, ensinou e compartilhou comigo seus conhecimentos e experiências.

Agradeço ainda aos demais professores da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Sou grato também às empresas em que trabalhei ao longo do período que cursei as disciplinas a ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* - em especial ao meu antigo gerente Cesareo de La Rosa Siqueira que foi um dos meus maiores incentivadores, bem como a empresa AVEVA do Brasil.

Agradeço aos meus amigos que me acompanharam nessa etapa da minha vida acadêmica, bem como aos meus antigos orientadores e incentivadores da minha busca científica e por ajudar a formar o meu perfil de pesquisador em Engenharia Química em especial, a professora Regina Peralta Muniz Moreira.

Agradeço também aos meus colegas de mestrado com quem compartilhamos temas de interesse, discussões técnicas e horas de trabalho conjunto.

E, por fim, agradeço à minha família que sempre me incentivou e torceu por mim, especialmente, a minha mãe, Mirian Bernadete Bertoldi Oberziner, pelo total apoio e ajuda sempre que foi necessário e especialmente à Helena Pinheiro Jucá Vasconcelos, amor da minha vida e incentivadora de todas as horas. Sou grato pela compreensão de todos com relação à minha ausência em momentos que tive que trocar os eventos familiares, viagens e etc. para me dedicar a mais uma importante realização na minha vida.

RESUMO

OBERZINER, André Luiz Bertoldi. ***RoadMap* Tecnológico para a produção de amônia.** Orientadora: Suzana Borschiver. Rio de Janeiro: UFRJ: EQ, 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos).

Esta dissertação apresenta um estudo de prospecção tecnológica sobre a produção de amônia por meio de um *RoadMap* Tecnológico. O estudo de prospecção tecnológica foi realizado com base em pesquisas sobre tecnologias atualmente aplicadas e que foram publicadas em mídia especializada em um levantamento de unidades em instalação, bem como nas bases de registros de patentes solicitadas e concedidas norte americana (USPTO) e de artigos *Scopus entre 2012 e 2016/4*. O produto final é o *RoadMap tecnológico* elaborado de acordo com a metodologia definida pelo NEITEC (Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos). A metodologia de *Technology RoadMapping* (TRM), dentro do conceito de prospecção tecnológica, consiste em uma ferramenta de planejamento estratégico utilizada pelos diversos atores na cadeia produtiva de modo a auxiliar na tomada de decisão apresentando os resultados em uma análise temporal de curto, médio e longo prazos, relacionando-os com fatores críticos referentes a mercado, produto e tecnologia que correspondem às taxonomias: "Insumos do Processo", "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia", "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese", "Pós-Tratamento" e "Aproveitamento de Energia no Processo". Os resultados apresentaram tendências relacionadas ao uso da amônia no longo prazo para o "Pré-Tratamento de Biomassa" e para a "Produção de Hidrogênio". Com esses temas foram formados *clusters* com o mesmo foco de pesquisa. No curto e médio prazos o destaque foi para a pesquisa de catalisadores e de melhorias no processo de produção de amônia que ainda segue o tradicional uso de gás de síntese e o processo denominado síntese de *Haber-Bosch*. Nesse intervalo também não foram identificadas parcerias e somente um *cluster* entre duas empresas com o mesmo foco de pesquisa. Empresas como *KBR, Casale, Toyo, Haldor Topsoe e Stamicarbon* aparecem nos resultados do estágio atual, curto e médio prazo e são tradicionais detentoras de tecnologia. Fica evidenciado no *RoadMap* que na área de produção de amônia, cada uma busca por meio do investimento em inovação garantir características únicas á sua tecnologia. Aparecem no curto prazo empresas como *Air Liquide* e *Praxair* que são relacionadas às detentoras de tecnologia em produção de amônia por meio da separação de gases e "Pós-Tratamento"*.* No médio prazo apareceram: *Air Products e Air Liquide.* O estudo mostrou que a metodologia de TRM foi bastante apropriada para entender o estado da arte do setor de produção de amônia em uma visão presente e de futuro relacionada a fatores de mercado, produto e tecnologia.

Palavras-chave - *RoadMap* Tecnológico, amônia, gás de síntese, tratamento de gás, processo, síntese de amônia, energia.

ABSTRACT

OBERZINER, André Luiz Bertoldi. **Technology *RoadMap* for ammonia production.** Oriented by: Suzana Borschiver. Rio de Janeiro: UFRJ: EQ, 2016. Thesis (Master in chemical and biochemical technology process).

This thesis presents a technological prospective study about ammonia production by means of a technological *RoadMap*. The technological prospection study was based on researches about technologies applied nowadays which were published in specialized media regarding the ammonia projects recently installed, searches on USPTO the United States patent database seeking for applied and issued as well as the scientific papers database *Scopus*, between 2012 and 2016/4. The final product is the technological *RoadMap* elaborated under the methodology defined by NEITEC (Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos). The Technology *RoadMap*ping Methodology (TRM) under the concept of technology prospection consists of a strategic planning tool used by different players in the supply chain to help decision making by presenting the results in a short, mid and long term timeline relating them with critical factors from the market, product and technology, that correspond with the keywords: process feedstock and inputs, product application and production of byproducts, ammonia synthesis and/or syngas synthesis, gas treatment and process energy optimization. The results presented tendencies, related to the usage of ammonia in the long term to pre treat biomass and to the hidrogen production. Clusters with the same research focus were identified for that subjects. In the short/mid- term the research of catalysts and improvements in the ammonia production process that still follows the traditional syngas usage process nominated Haber-Bosch synthesis can be highlighted. No partnership and only one cluster with two companies focusing on the same research areas was identified in the short/mid-term. Companies like KBR, Toyo, Haldor Topsoe and Stamicarbon participated on results in the current stage, short and mid term and are traditional ammonia production technology providers. The RoadMap showed that these companies invest on innovation in ammonia production to guarantee unique characteristics to their own technology. In the short-term appeared companies like Air Liquide and Praxair which were related to the ammonia production technology suppliers by the gas treatment and separation. In the mid-term appeared Air Products and Air Liquide. This study showed that the TRM methodology was apropriated to understand the state of the art of the ammonia production market in a present-future perspective related to the market, product and technology factors.

Keywords - Technology *RoadMap*, ammonia, syngas, gas treatment, process, ammonia synthesis, energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo do nitrogênio.....18
Figura 2. Crescimento da população mundial, parcela da população rural versus urbana e perfil da alimentação em 5 países em desenvolvimento.....22
Figura 3. Perfil da alimentação em 5 países em desenvolvimento.....23
Figura 4. Crescimento do consumo mundial de grãos.....23
Figura 5. Crescimento da população mundial versus terras aráveis per capita.....24
Figura 6. Participação dos maiores produtores de milho.....25
Figura 7. Participação dos maiores produtores de soja.....25
Figura 8. Mapa da fertilidade do solo no Brasil.....26
Figura 9. Área plantada, produção de grãos e consumo de fertilizantes.....27
Figura 10. Produção mundial de amônia - Adaptado de USGS.....28
Figura 11. Consumo mundial de amônia.....29
Figura 12. Tendências da população humana e uso de nitrogênio ao longo do século XX.....30
Figura 13. Instituições para as quais houve patentes concedidas com a classificação C01C1/04 para o período entre 1997 e 2016/4.....31
Figura 14. Instituições com mais patentes concedidas - classificação C01C1/04.....33
Figura 15. Amônia e a rota para a produção dos demais fertilizantes nitrogenados.....38
Figura 16. Aparato experimental utilizando por Fritz Haber para a síntese da amônia..39
Figura 17. Reator da primeira planta de produção de amônia exposto na BASF em *Ludwigshafen*.....40
Figura 18. Fluxograma da produção de amônia pela reforma a vapor.....42
Figura 19. Custos de produção de amônia nos principais mercados produtores.....44
Figura 20. Evolução das matérias-primas para a produção de amônia.....45
Figura 21. Custos do gás natural *versus* preço da amônia nos EUA.....46
Figura 22. Preço da amônia nos EUA.....46
Figura 23. Expectativa de crescimento da demanda por fertilizantes.....47
Figura 24. Evolução da capacidade chinesa de produção de amônia.....48
Figura 25. Manutenção dos baixos preços do gás natural nos EUA e expansão do consumo industrial.....49
Figura 26. Novas plantas de produção de fertilizantes e metanol previstas para entrar em operação ou retomar a produção em 2016.....50
Figura 27. Malha de dutos dos Estados Unidos.....50

Figura 28. Saldo da Balança Comercial Brasileira do Agronegócio.....51
Figura 29. Balança comercial brasileira de fertilizantes - 2003 a 2014 - Adaptado de MDIC.....52
Figura 30. Queima de gás natural em relação à produção.....53
Figura 31. Movimentação de gás natural no Brasil.....53
Figura 32. Malha de dutos do Brasil.....54
Figura 33. Projeção da oferta de gás natural no Brasil.....55
Figura 34. Histórico e projeção da oferta de gás natural no Brasil.....55
Figura 35. Histórico da produção de fertilizantes nitrogenados no Brasil.....56
Figura 36. *Framework* de gestão tecnológica.....67
Figura 37. Esquema de um *RoadMap* tecnológico genérico.....68
Figura 38. Exemplos de *RoadMaps* tecnológicos. Diferentes formatos.....69
Figura 39. Exemplos de *RoadMaps* tecnológicos. Diferentes motivações.....70
Figura 40. Arquitetura típica de um mapa do conhecimento de múltiplas camadas.....71
Figura 41. Conhecimento comercial e tecnológico para a criação do *RoadMap*.....72
Figura 42. *RoadMap* – Planejamento de produtos.....73
Figura 43. *RoadMap* – Planejamento de serviços e capacitações.....73
Figura 44. *RoadMap* – Planejamento estratégico.....74
Figura 45. *RoadMap* – Planejamento de longo prazo.....74
Figura 46. *RoadMap* – Capacitação e planejamento do conhecimento.....75
Figura 47. *RoadMap* – Planejamento de projetos.....75
Figura 48. *RoadMap* – Planejamento de processos.....76
Figura 49. *RoadMap* – Planejamento integrado.....76
Figura 50. Estrutura de *RoadMap* unificando suas quatro partes.....77
Figura 51. Metodologia - *RoadMap* tecnológico.....83
Figura 52. Metodologia de pesquisa exploratória.....85
Figura 53. Sequência Temporal.....86
Figura 54. Patentes concedidas por ano - 2012 a 2016/4.....96
Figura 55. Patentes concedidas - ano no qual foram solicitadas.....96
Figura 56. Instituições responsáveis pelas patentes concedidas - por continente.....97
Figura 57. Ranking dos países que mais apareceram na base de patentes concedidas analisadas.....98
Figura 58. Tipos de instituição que mais apareceram na base de patentes concedidas analisadas.....99
Figura 59. Instituições que apareceram na base de patentes concedidas analisadas...99

Figura 60. Número de registros das taxonomias nas patentes concedidas analisadas.....100
Figura 61. Análise micro - "Insumos do Processo" - percentual de cada taxonomia....101
Figura 62. Análise micro - "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia" - percentual de cada taxonomia.....102
Figura 63. Análise micro - "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" - percentual de cada taxonomia.....102
Figura 64. Análise micro - "Aproveitamento de Energia no Processo" - percentual de cada taxonomia.....103
Figura 65. Análise micro - "Pós-Tratamento" - percentual de cada taxonomia.....103
Figura 66. Patentes solicitadas por ano - 2012 a 2016/4.....104
Figura 67. Instituições responsáveis pelas patentes solicitadas - por continente.....105
Figura 68. Ranking dos países que mais apareceram na base de patentes solicitadas analisadas.....106
Figura 69. Tipos de instituição que mais apareceram na base de patentes solicitadas analisadas.....107
Figura 70. Instituições que apareceram na base de patentes solicitadas analisadas..108
Figura 71. Número de registros das taxonomias nas patentes solicitadas analisadas.....109
Figura 72. Análise micro - "Insumos do Processo" - percentual de cada taxonomia...110
Figura 73. Análise micro - "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia" - percentual de cada taxonomia.....111
Figura 74. Análise micro - "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" - percentual de cada taxonomia.....112
Figura 75. Análise micro - "Pós-Tratamento" - percentual de cada taxonomia.....112
Figura 76. Artigos publicados por ano - 2013 a 2016/4.....113
Figura 77. Localização das instituições que publicaram os artigos - por continente....114
Figura 78. Ranking dos países que mais apareceram na base de artigos pesquisados.....115
Figura 79. Autores que mais apareceram na base de artigos pesquisados.....116
Figura 80. Tipos de instituição que mais apareceram na base de artigos pesquisados.....116
Figura 81. Instituições que apareceram na base de artigos pesquisados.....118
Figura 82. Número de registros das taxonomias nos artigos analisados.....119
Figura 83. Análise micro - "Insumos do Processo" - percentual de cada taxonomia..120

Figura 84. Catalisadores e sua aplicação que apareceram na análise dos artigos.....121
Figura 85. Análise micro - "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia" - percentual de cada taxonomia.....123
Figura 86. Análise micro - "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" - percentual de cada taxonomia.....124
Figura 87. Análise micro - "Pós-Tratamento" - percentual de cada taxonomia.....125
Figura 88. *RoadMap* tecnológico - "Insumos do Processo".....128
Figura 89. *RoadMap* tecnológico - "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia"...128
Figura 90. *RoadMap* tecnológico - "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese".....129
Figura 91. *RoadMap* tecnológico - "Pós-Tratamento".....129
Figura 92. *RoadMap* tecnológico - "Aproveitamento de Energia no Processo".....130
Figura 93. *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia.....131
Figura 94. *RoadMap* tecnológico - Estágio Atual.....134
Figura 95. Patente concedida à *Stamicarbon*.....135
Figura 96. Ciclo de implantação de projeto da YARA.....136
Figura 97. Exemplo de "Parceria" e "Mesmo Foco" indicados no *RoadMap*.....136
Figura 98. *RoadMap* tecnológico - Curto Prazo.....140
Figura 99. *RoadMap* tecnológico - Médio Prazo.....143
Figura 100. *RoadMap* tecnológico - Longo Prazo - *Cluster 1* - Mesmo Foco.....146
Figura 101. *RoadMap* tecnológico - Longo Prazo - *Cluster 2* - Mesmo Foco.....147
Figura 102. *RoadMap* tecnológico - Longo Prazo - *Cluster 3* - Mesmo Foco.....148
Figura 103. *RoadMap* tecnológico - Longo Prazo.....151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção nacional e importação de fertilizantes no Brasil - 2011 a 2015.....28

Tabela 2. Produção, importação, exportação e consumo de amônia nos EUA.....49

Tabela 3. Panorama dos RoadMaps encontrados na literatura, destacando os relacionados à área de química.....79

Tabela 4. Glossário contendo as taxonomias utilizadas nas análises meso e micro e a sua respectiva definição.....88

Tabela 5. Projetos ordenados pelo continente que foram ou serão implantados e informações relevantes sobre cada empreendimento.....92

Tabela 6. Projetos ordenados pelo ano que foram ou serão implantados os empreendimentos e informações relevantes sobre cada um deles.....93

Tabela 7. Projetos ordenados pelo ano que foram ou serão implantados os empreendimentos e informações relevantes sobre cada um deles.....94

Tabela 8. Catalisadores citados nos artigos analisados e sua forma de aplicação.....122

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BASF - *Baden Aniline and Soda Company*

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CAPEX - *Capital Expenditures*

CSIRO - *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*

DAP - Fosfato Diamônico

DEA - Dietanolamina

DNA - *deoxyribonucleic acid*

EIA - *United States Energy Information Administration*

EIRMA - *European Industrial Research Management Association*

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FAFEN - Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados

FAO - *Food and Agriculture Organization*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

IAC - Instituto Agronômico de Campinas

IFA - *International Fertilizer Industry Association*

INPI - Instituto Nacional de Propriedade Industrial

IPC - *International Patent Classification*

MEA - Monoetanolamina

MAP - Fosfato Monoamônico

MDIC - Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior

NASDAQ - *National Association of Securities Dealers Automated Quotations*

NEITEC - Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos

NPK - Nitrogênio, Fósforo e Potássio

ONU - Organização das Nações Unidas

PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S.A.

RASF - Resíduo Asfáltico

RNA - *ribonucleic acid*

TRM - *Technology RoadMapping*

UFN - Unidade de Fertilizantes Nitrogenados

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

USPTO - *United States Patent and Trademark Office*

USGS - *United States Geological Survey*

WIPO - *World Intelectual Property Organization*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO, OBJETIVO DO TRABALHO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....18
1.1. Introdução.....18
1.2. Objetivo do trabalho.....33
1.3. Estrutura da dissertação.....34
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....38
2.1. As tecnologias de produção de amônia.....38
2.2. Aspectos Relevantes na Produção de Amônia e Características do Brasil e dos Principais Países Produtores e Consumidores de Amônia.....44
3. CONCEITOS - Gestão do Conhecimento, Inteligência Competitiva, Estudo de Prospecção Tecnológica, Cenários Prospectivos e *RoadMapping* Tecnológico.....60
4. METODOLOGIA.....83
5. RESULTADOS DA FASE DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA.....91
5.1 Tempo Zero - Análise do Estágio atual.....91
5.2 Curto Prazo - Busca em Patentes Concedidas.....95
5.2.1 Análise Macro - Curto Prazo.....95
5.2.2 Análise Meso - Curto Prazo.....100
5.2.3 Análise Micro - Curto Prazo.....101
5.3 Médio Prazo - Busca em Patentes Solicitadas.....104
5.3.1 Análise Macro - Médio Prazo.....104
5.3.2 Análise Meso - Médio Prazo.....109
5.3.3 Análise Micro - Médio Prazo.....110
5.4 Longo Prazo - Busca em Artigos Científicos.....113
5.4.1 Análise Macro - Longo Prazo.....113
5.4.2 Análise Meso - Longo Prazo.....119
5.4.3 Análise Micro - Longo Prazo.....120
6. CONSTRUÇÃO DO *ROADMAP*.....127
6.1 Tempo Zero ou Estágio atual.....132
6.2 Curto Prazo.....134
6.3 Médio Prazo.....141
6.4 Longo Prazo.....144
6.4.1 Clusters de mesmo foco.....144
6.4.2 *Players* que não faziam parte dos *clusters* de mesmo foco.....149
7. ANÁLISE PÓS-*ROADMAP* TECNOLÓGICO.....154
7.1 Análise Vertical - Estágio Atual e Curto Prazo.....154
7.2 Análise Vertical - Médio Prazo.....155
7.3 Análise Vertical - Longo Prazo.....157
7.4 Análise Horizontal - Estágio Atual, Curto, Médio e Longo Prazos.....158
8. CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....161
REFERÊNCIAS.....166

1 INTRODUÇÃO, OBJETIVO DO TRABALHO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1.1 Introdução

Os principais fatores produtivos da amônia serão explorados para que, com base na sua avaliação, seja possível nortear o desenvolvimento do *RoadMap* sobre a produção de amônia.

Dentre os aspectos a serem abordados nesta dissertação, é possível destacar os que aparecem como motivação para esse estudo, como a perspectiva do aumento da demanda mundial nos próximos anos por alimentos e fertilizantes nitrogenados, decorrentes do aumento da população mundial.

A amônia foi escolhida por ser o composto básico para toda a cadeia de produção de fertilizantes nitrogenados. Além disso, é utilizada em vários processos químicos e, em alguns deles, aparece como um dos gases de exaustão.

A amônia é um composto químico cuja síntese foi inventada no início do século XX e o seu processo produtivo, embora esteja em constante atualização, ainda segue os princípios básicos da síntese de *Haber-Bosch*, o que abre espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias e de inovação tecnológica tanto incremental como de ruptura.

Além disso, o Brasil como exportador agrícola e importador de fertilizantes nitrogenados vem apresentando saldos positivos na balança comercial do agronegócio, no entanto em relação aos fertilizantes vem apresentando ao longo da última década um déficit importante na sua balança comercial, com parcela representativa desse déficit proveniente da importação de fertilizantes nitrogenados, dentre eles, a amônia.

O nitrogênio é um constituinte da estrutura química de moléculas das células, tais quais aminoácidos, DNA, RNA e clorofilas. A escassez deste elemento limita o crescimento de plantas e interfere no processo de fotossíntese. O gás nitrogênio presente no ar está em sua forma inerte, portanto, as plantas não são capazes de absorvê-lo, necessitando que o mesmo esteja na sua forma iônica (nitratos e amônio) para suprir as necessidades nutritivas agrícolas (YAN *et al*., 1998).

Valero (2008) representa o ciclo do nitrogênio da forma descrita na Figura 1.

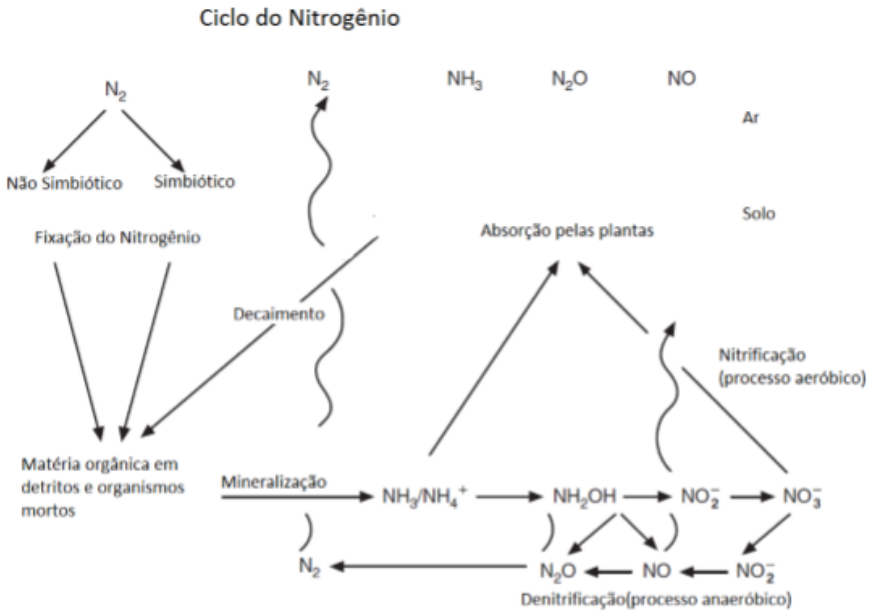


Figura 1. Ciclo do nitrogênio

Fonte: Valero (2008).

As plantas leguminosas fixam cerca de 15 milhões de toneladas de nitrogênio por ano e as outras espécies como algas, fungos e bactérias fixam cerca de 40 milhões de toneladas por ano no mundo. A fixação industrial (adubos) é de 30 milhões de toneladas por ano. Os eventos naturais como chuvas e descargas elétricas fixam cerca de 10 milhões de toneladas por ano. A contribuição de vulcões é a menor, totalizando 200 mil toneladas ao ano. O processo inverso, de desnitrificação, devolve à atmosfera cerca de 85 milhões de toneladas de nitrogênio ao ano (GOMES *et al*., 2008).

A amônia é o composto chave para produção de quase todos os fertilizantes minerais, tais como: amônia anidra, aquamônia, cianamida de cálcio, cloreto de amônio, fosfato diamônico, fosfato monoamônico, fosfossulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrato de cálcio (magnésio, manganês, potássio ou sódio), nitrofosfato, nitrossulfocálcio, sulfato de amônio, sulfonitrato de amônio e ureia.

A indústria de fertilizantes nitrogenados é dependente, principalmente, da indústria de gás natural, maior fornecedora de hidrogênio para a síntese de amônia. O nitrogênio está disponível em abundância para o processo. Ao contrário do fosfato e do potássio, a indústria de fertilizantes nitrogenados não depende da mineração.

Entretanto, a integração entre estas indústrias é importante para a produção de fertilizantes mistos (BUCHEL, 2003).

Relatos históricos antigos mencionavam o uso de fertilizantes. Documentos escritos em 2500 a.C., na Mesopotâmia mencionam relações entre a fertilidade da terra e a produção de cevada, com rendimentos variando entre 86 e 300 (unidades desconhecidas) em uma mesma área. Aproximadamente em 500 a.C, o historiador Heródoto relata suas viagens pela mesma região e menciona produtividades excepcionais obtidas pelos agricultores na região. Estas altas produções eram resultado de avançados sistemas de irrigação e solos de alta fertilidade. Esta fertilidade pode ser atribuída às enchentes anuais dos rios. Teofrasto (grego, 300 a.C.) foi outro pesquisador a registrar que na região a água era deixada o máximo possível em contato com a terra, de forma a ocorrer deposição de silte (fração granulométrica menor que a areia fina e maior que argila). Teofrasto também escreveu sobre uso de esterco e adubos verdes como fertilizantes (LOPES; GUILHERME, 2009).

Nessa análise histórica feita por Lopes e Guilherme (2009) foi descrito que nos primeiros 13 séculos da era cristã, reinaram os conhecimentos agrícolas obtidos/formulados nas civilizações que eram centro de cultura e ciência: Cairo, Marrakesh, Alexandria, Bagdá (Antiga Mesopotâmia), Damasco, Istambul, entre outros. Tais conhecimentos foram difundidos, principalmente, por conta da extensão do império romano nos primeiros séculos. Miranda (1983) enuncia que a principal contribuição árabe na cultura ocidental foi a agricultura.

Justus von Liebig (1803-1873), químico alemão, foi considerado por muitos o pai da química agrícola. Liebig formulou a “lei do mínimo”, segundo a qual o crescimento de um organismo é limitado pelo elemento essencial cuja concentração estiver inferior ao requerido pelo mesmo. O conceito originalmente foi formulado pelo botânico Carl Sprenger, que verificou que adicionando individualmente mais nutrientes do que o necessário a planta não cresceria mais do que o normal. Entretanto a ideia ficou conhecida e popularizada por Liebig (*museuvirtualliebig.com*). Ele acreditava também (equivocadamente) que o íon amônio era a única forma de absorção de nitrogênio. Embora nem todas as ideias de Liebig estivessem corretas, elas dominaram o pensamento científico por muito tempo (LOPES; GUILHERME, 2009).

Ao longo do século XX, muito se desenvolveu em torno de ciência da produtividade agrícola. O aumento do poder analítico em laboratórios permitiu o entendimento maior da dinâmica do ciclo dos fertilizantes nas plantas. Novas tecnologias de irrigação foram desenvolvidas, principalmente para regiões mais áridas. Novos pesticidas e herbicidas foram desenvolvidos. Espécies mais resistentes às pragas e mais eficientes em termos de rendimento foram desenvolvidas e cultivadas.

No Brasil, acredita-se que os primeiros estudos sobre fertilizantes foram realizados no IAC (Instituto Agronômico de Campinas). O instituto foi fundado em 1887 pelo Imperador Dom Pedro II. Em 1892, passou para a administração do governo do estado de São Paulo. Para sua direção, o Governo Imperial Brasileiro contratou na Áustria o professor F. W. Dafert, que o dirigiu até 1897. Dafert geriu o IAC de maneira muito eficiente, produzindo clássicos da literatura agronômica, especialmente, relacionada ao cultivo do café, produto brasileiro em destaque na época. Na década de 30, iniciaram-se experimentos com enfoques estatísticos em relação à aplicação de fertilizantes, afastando o empirismo. Na mesma época, as pesquisas biológicas foram intensificadas. (O AGRONÔMICO, 2007).

A ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos) foi fundada em 13 de abril de 1967 (Pacaembu-SP), com missão específica de convencer os agricultores sobre o custo-benefício do uso de fertilizantes. Apenas 30% das áreas cultivadas usavam adubos. Assim, quatorze empresas se reuniram a fim de criar a ANDA: Benzenex, CBA, Copas, Copebrás, Fertibrás, Granubrás, IAP, Itaú, Manah, Murakami, Uimbrasil, Takenaka, Ultrafértil e Zanaga (*www.anda.org.br*).

Em 1969, A ANDA promoveu a instalação de quinhentos campos de demonstração dos resultados do uso de adubos (fertilizantes) em arroz, milho, feijão e algodão no sul de Goiás, no Triângulo Mineiro e no sul de Minas Gerais. O projeto estendeu-se ao Mato Grosso. Após 6 anos, foram gerados 3 mil campos de demonstração. Em 1981, a ANDA criou o Programa Colaborativo de Controle de Qualidade com o objetivo de discutir a qualidade na produção de fertilizantes. Desde 1986, a ANDA produz seu anuário estatístico, o mais respeitado banco de dados de fertilizantes do Brasil. Segundo a IFA (*Fertilizer Industry Association*), só existem anuários similares no Japão e nos Estados Unidos (*www.anda.org.br*).

O fundo das Nações Unidas (Organização das Nações Unidas - ONU) para Agricultura e Alimentação (*Food and Agriculture Organization* - FAO) tem a sua maior preocupação na má nutrição. Considera desnutrição, tanto a deficiência de micronutrientes quanto o sobrepeso e a obesidade. Entende que não só a agricultura, mas todo o sistema de produção de alimentos pode contribuir muito mais para a erradicação da má nutrição (FAO, 2013).

A população mundial está aumentando em 75 milhões de pessoas por ano. Espera-se que mais de 800 milhões de pessoas serão somadas à população mundial até 2020. Esse crescimento está acontecendo ao mesmo tempo em que a composição da população mundial está mudando. A maior parte do crescimento está concentrado nos países em desenvolvimento, particularmente em áreas urbanas. Hoje, uma em cada 2 pessoas vive em áreas urbanas; em 2050, espera-se que a parcela da população que vive nas cidades cresça para mais de dois terços da população mundial, como é possível observar na Figura 2 (POTASHCORP, 2011).

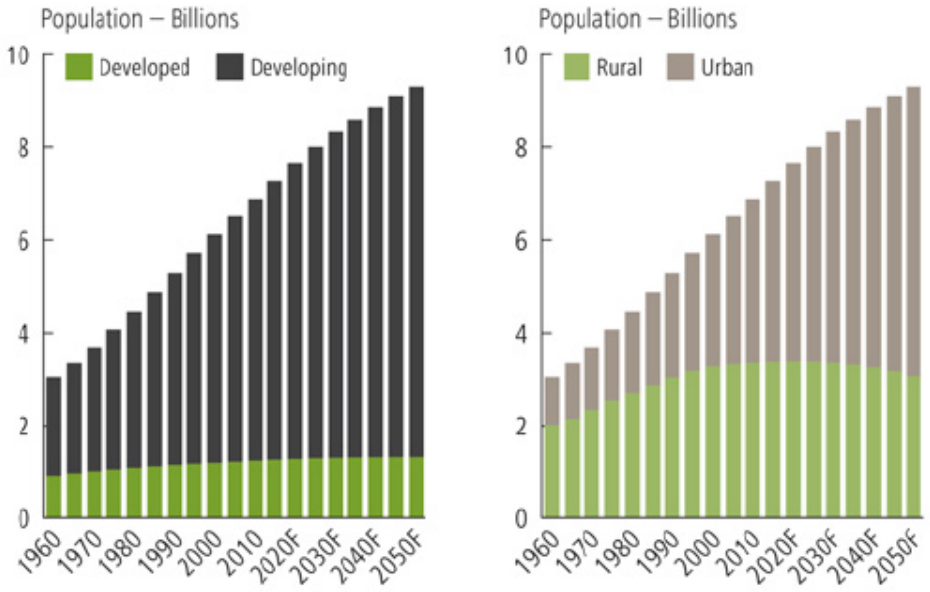


Figura 2. Crescimento da população mundial, parcela da população rural versus urbana e perfil da alimentação em 5 países em desenvolvimento

Fonte: Potashcorp (2011).

Essa é uma mudança importante já que consumidores que vivem em cidades tendem a comer mais e a ter dietas melhor balanceadas. Na China, a população que vive nas áreas urbanas consome aproximadamente 75% mais carne e quase 25% mais frutas e vegetais, tendência mostrada na Figura 3. Portanto, será necessário

um aumento na quantidade de alimentos a ser produzida, associada a uma maior diversificação em relação ao tipo de produto agrícola produzido (FAO, 2013).

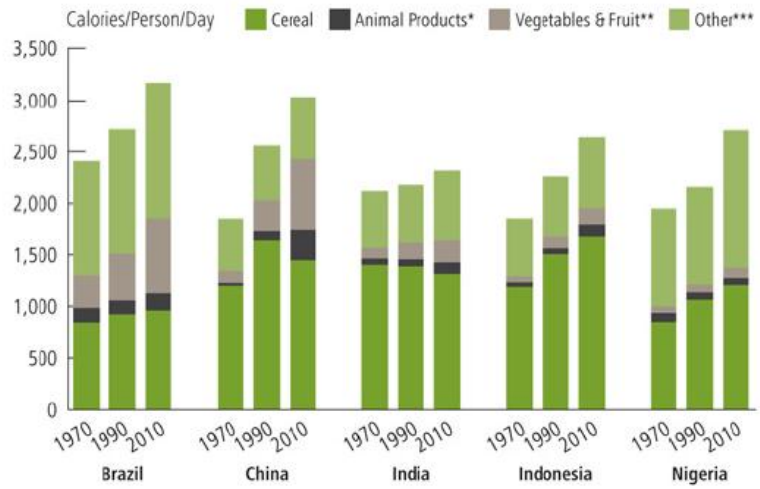


Figura 3. Perfil da alimentação em 5 países em desenvolvimento

Fonte: FAO - Organização das Nações Unidas (2013).

Como consequência do aumento da urbanização está o consumo de grãos que tem aumentado constantemente nos últimos anos, e espera-se que siga aumentando nas projeções futuras, como mostra a Figura 4 da *International Fertilizer Industry Association* (IFA, 2015):

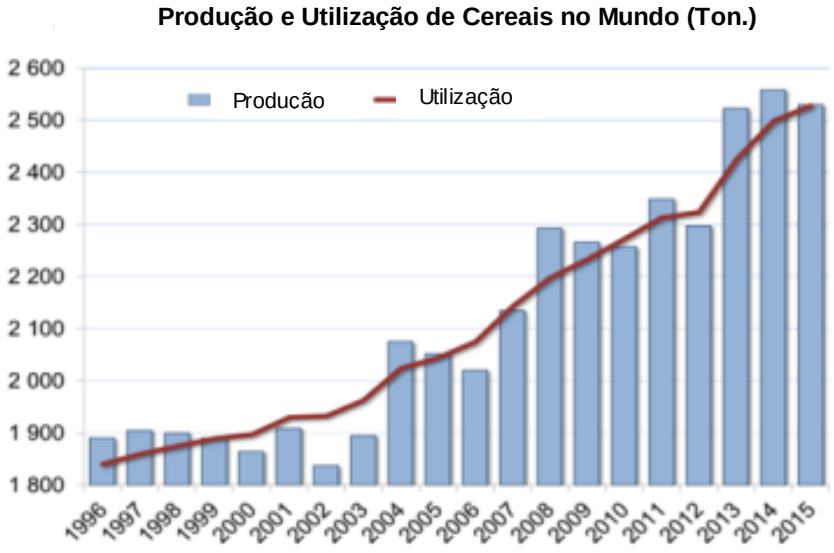


Figura 4. Crescimento do consumo mundial de grãos

Fonte: IFA (2015).

Outro indicador alarmante é observado quando se comparam as estimativas de crescimento da população mundial com a quantidade de hectares per capita de terras aráveis, conforme mostra a Figura 5 (ANDA, 2010).

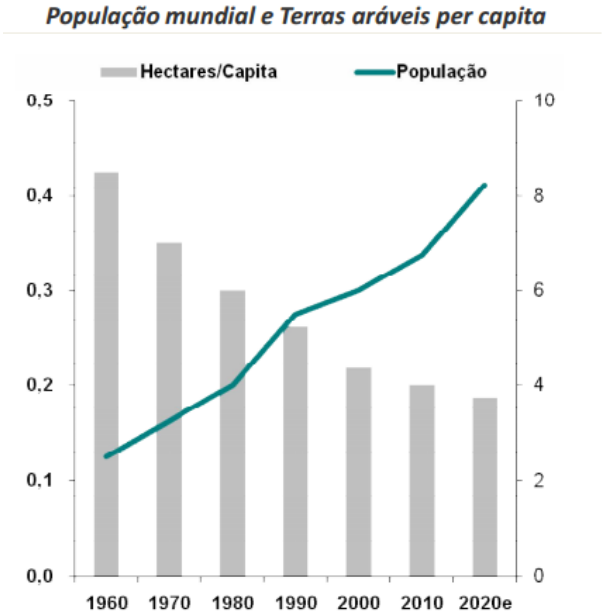


Figura 5. Crescimento da população mundial versus terras aráveis per capita

Fonte: ANDA (2010).

O papel do Brasil como produtor e exportador de produtos agrícolas firmou-se no século XX, principalmente após os anos 70 (LOPES; GUILHERME, 2009). O aumento de produtividade, diversidade e rendimento no setor agrícola é resultado de esforços em pesquisa, inovação e difusão deste conhecimento, além de utilização de tecnologias importadas. Percebeu-se que a única maneira de elevar a produção agrícola necessária ao aumento da demanda mundial por alimentos é manter o solo agriculturável. O desenvolvimento de atividades agrícolas é uma ação antrópica que retira dos solos os nutrientes, sendo necessário devolver aos solos estes mesmos.

No período de 1970 a 2003, a produção das 16 principais culturas brasileiras passou de 49,6 para 190,7 milhões de toneladas (em base seca). A produtividade aumentou de 1,4 ton/ha para 3,3 ton/ha. O aumento da fertilidade do solo é capaz de reduzir as áreas necessárias à agricultura, e essa pode ser a maior contribuição ambiental da indústria de fertilizantes (LOPES; GUILHERME, 2009).

Há alguns importantes motivos que sustentam a previsão de que a demanda por amônia no Brasil continuará crescente pelas próximas décadas. Em virtude do alto grau de importação, a demanda por amônia apresenta um impacto deficitário considerável sobre a balança comercial brasileira. O país está entre os maiores produtores de soja e milho há muitos anos como é possível observar nas Figuras 6 e 7 e é um tradicional exportador de *commodities* agrícolas, além de possuir a maior

disponibilidade mundial de recursos hídricos e terras agricultáveis onde, portanto, é possível ampliar a área plantada (POTASHCORP, 2011). No entanto, apresenta um cenário de baixa fertilidade dos solos, o que é possível observar na Figura 8 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2002). Em relação ao consumo de fertilizantes no Brasil, 76% concentra-se em 4 culturas: soja, milho, cana e café (ANDA, 2016).

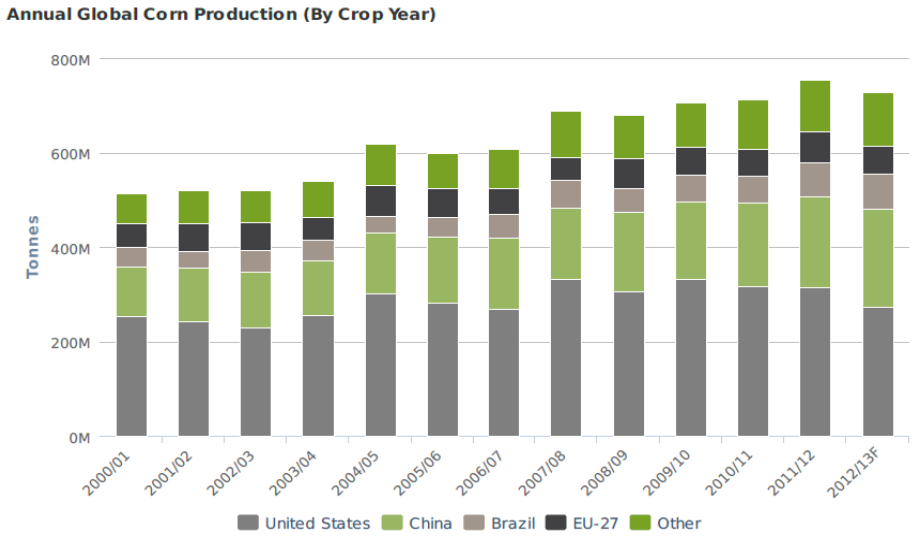


Figura 6. Participação dos maiores produtores de milho

Fonte: Potashcorp (2011).

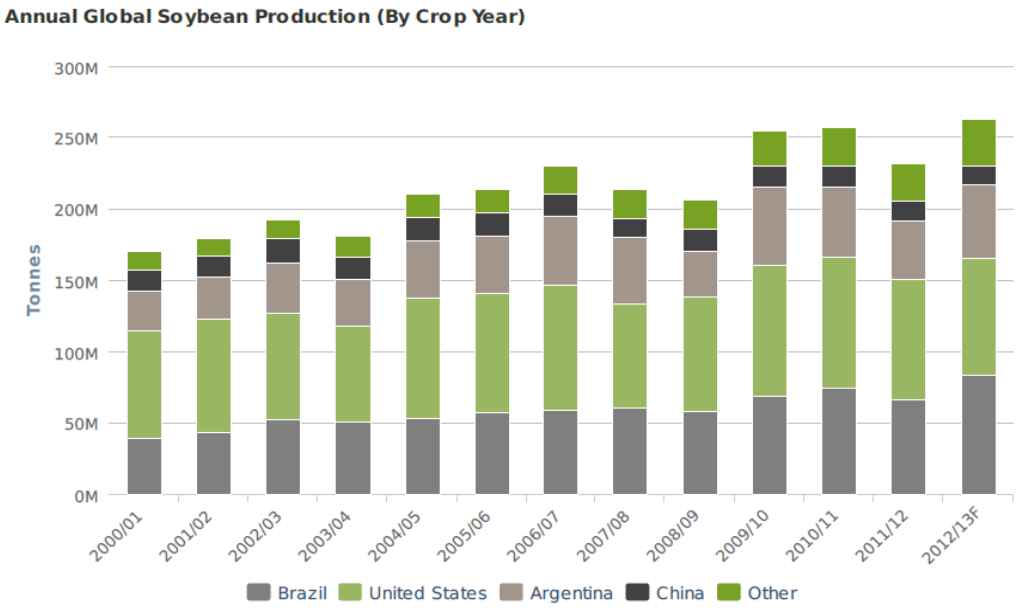


Figura 7. Participação dos maiores produtores de soja

Fonte: Potashcorp (2011).

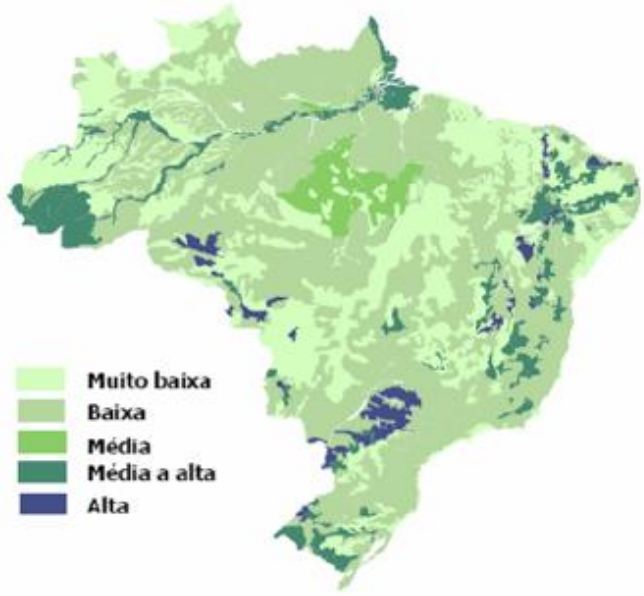


Figura 8. Mapa da fertilidade do solo no Brasil

Fonte: IBGE (2002).

Devido à baixa fertilidade do solo e à exploração de novas fronteiras produtoras, há anos o agronegócio brasileiro vem aumentando a produção de grãos quase que na mesma proporção do aumento do consumo de fertilizantes. Já a área plantada aumenta em proporção bem menor, o que caracteriza o aumento da eficiência de área e o aumento da produtividade do agronegócio brasileiro entre 1992 e 2010. Esse ganho de produtividade, como é possível observar na Figura 9, é devido a vários fatores, dentre eles a utilização de fertilizantes (ANDA, 2010).

De acordo com o BNDES (2012), o aumento de produtividade pode ocorrer também por meio da adoção de técnicas apropriadas de cultivo e manejo, como a utilização de agricultura de precisão, rotação de culturas, correção de acidez do solo, manejo integrado de pragas e uso de defensivos agrícolas. Nos últimos anos, as pesquisas com sementes geneticamente modificadas também vêm contribuindo para elevação da produtividade na agricultura brasileira.

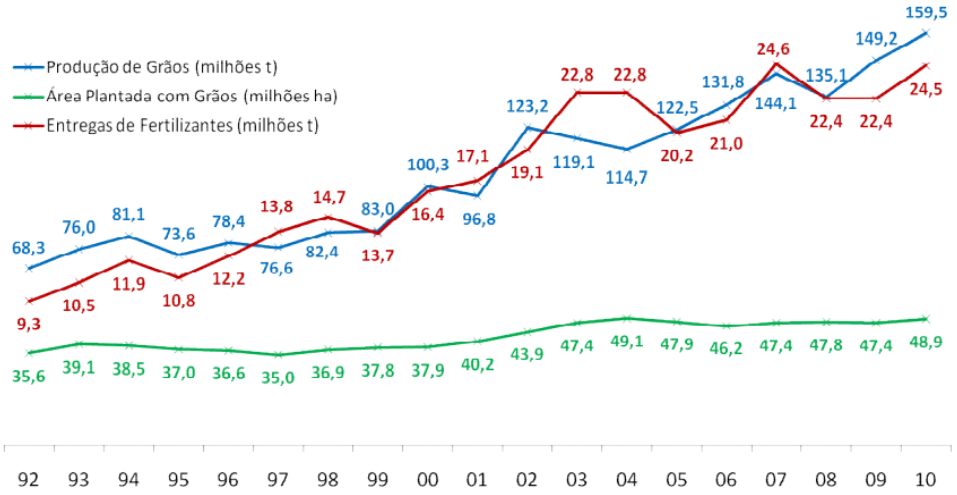


Figura 9. Área plantada, produção de grãos e consumo de fertilizantes

Fonte: ANDA (2010).

A produção em queda, a falta de investimentos em unidades de produção de fertilizantes nitrogenados e a alta do consumo de fertilizantes levam à importação e com isso se produz o déficit da balança comercial de tais produtos como mostra a Tabela 1. (ANDA, 2016). Em 2015, foi possível observar uma redução no volume de importações e o aumento da produção nacional, ambos em comparação com o ano de 2014. No entanto, a balança comercial de fertilizantes ainda apresenta um déficit importante quando comparadas à produção doméstica e às importações desses produtos. De acordo com um levantamento da ANDA (2016) os fertilizantes nitrogenados representam 23% da necessidade de fertilizantes no Brasil, os fosfatados 62% e os Potássicos 15%. A amônia além de ser aplicada como fertilizante, serve de matéria-prima para a produção de ureia, nitrato de amônia, nitrocálcio, sulfato de amônia, fosfato diamônico - DAP e fosfato monoamônico - MAP. Em 2015, 31% do consumo de amônia no Brasil foi importado. No entanto, ela tem impacto em todos os fertilizantes nitrogenados para os quais é matéria-prima cujo déficit foi de 73% naquele mesmo ano. Contribuem para esse déficit a ureia com 66% do consumo sendo importado, nitrato de amônia (73% importado), nitrocálcio (100% importado), Sulfato de amônia (86% importado), DAP (100% importado) e MAP (80% importado). (ANDA, 2016).

Tabela 1. Produção nacional e importação de fertilizantes no Brasil - 2011 a 2015

Produção Nacional de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2012	2013	2014	2015	2015/2014
Dezembro	769.953	703.464	770.411	748.911	-2,8 %
Janeiro a Dezembro	9.722.259	9.304.713	8.817.680	9.115.260	3,4%
Total do Ano	9.722.259	9.304.713	8.817.680	9.115.260	

Importação de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2012	2013	2014	2015	2015/2014
Dezembro	1.505.007	1.473.022	1.455.134	1.232.042	-15,3 %
Janeiro a Dezembro	19.545.234	21.618.822	24.035.600	21.087.299	-12,3%
Total do Ano	19.545.234	21.618.822	24.035.600	21.087.299	

Fonte: ANDA (2016).

Mundialmente, no entanto, o cenário é diferente. A produção mundial de amônia vem aumentando anualmente desde a crise de 2008 que teve impactos na demanda ao longo de 2009 e atingiu recorde em 2014 como se pode observar na Figura 10. Em 2014 a produção foi de 144 milhões de toneladas, sendo que a China produz em torno de 33,3% de toda a amônia produzida no mundo, seguida de Índia (8,3%), Rússia (7,2%) e Estados Unidos (6,4%). Espera-se que a capacidade produtiva de amônia irá aumentar em 16% nos próximos 4 anos. Capacidade produtiva adicional é esperada na Ásia, África, Oriente Médio e América Latina. O maior crescimento é esperado na China de acordo com a *United States Geological Survey* (USGS, 2015).

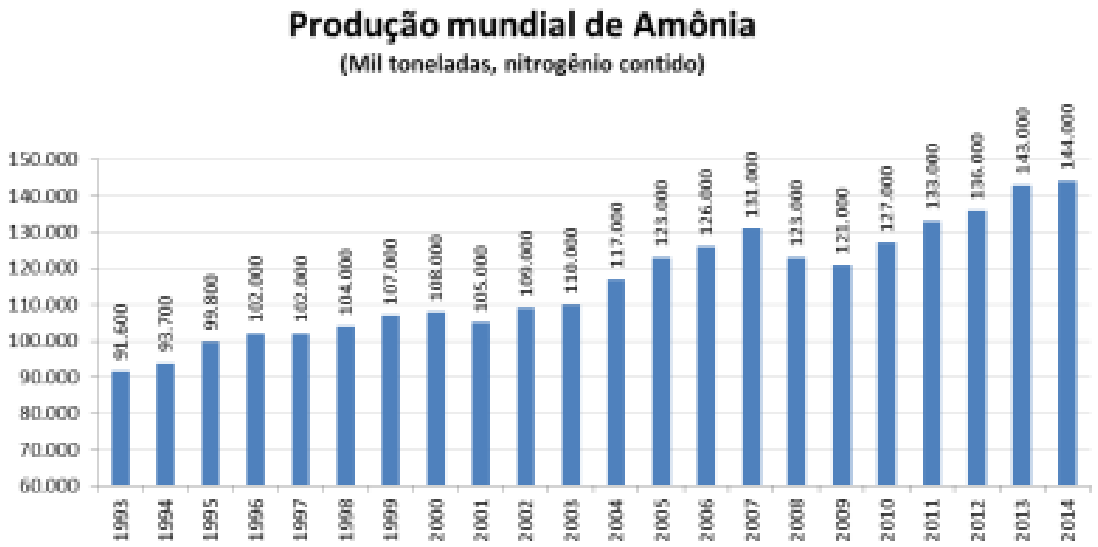


Figura 10. Produção mundial de amônia

Fonte: Adaptado de USGS (2015).

É possível observar o aumento do consumo mundial de amônia na Figura 11. Desde o ano de 2009, a demanda aumenta anualmente, além disso, o seu uso principal é destinado à produção de ureia e outros fertilizantes. O uso industrial vem aumentando, no entanto ainda tem pouca representatividade se comparado ao uso da amônia na produção de outros fertilizantes. (POTASHCORP, 2013).

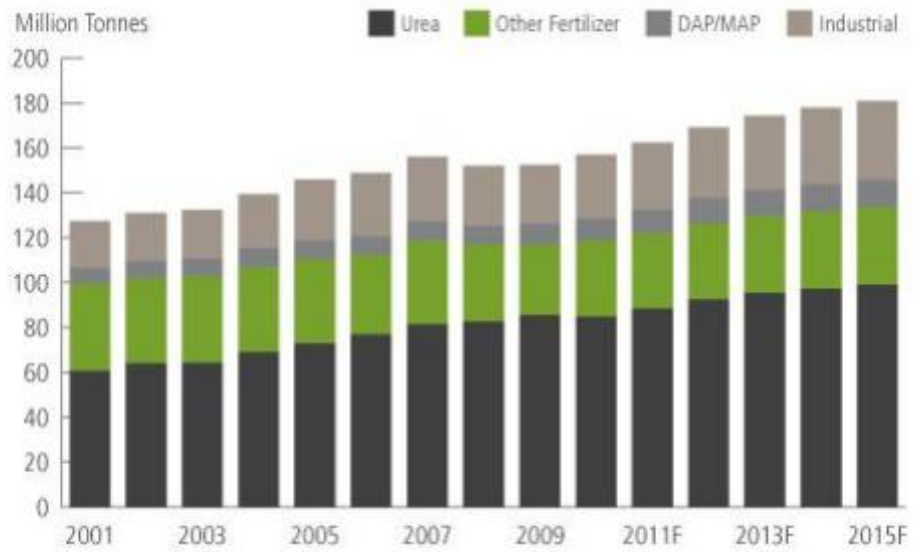


Figura 11. Consumo mundial de amônia

Fonte: Potashcorp (2013).

A Figura 12 mostra as tendências da população humana e o uso de nitrogênio ao longo do século XX. Pode-se destacar a curva ascendente da população mundial alimentada por nitrogênio produzido via síntese Haber-Bosch, o que representou a invenção de Fritz Haber cuja patente foi publicada em 13 de outubro de 1908 e que depois, em 1918 o autor recebeu o prêmio nobel de química. Fritz Haber foi o inventor que criou a inovação de ruptura em relação aos fundamentos da engenharia química de alta pressão, mas foi Carl Bosch quem subsequentemente desenvolveu a síntese em escala industrial e por isso também foi premiado com o prêmio nobel em 1931 (SUTTON *et al*., 2008). O grande sucesso da indústria da amônia mudou a história da produção mundial de alimentos. De acordo com as estatísticas da ONU por meio da FAO, os fertilizantes nitrogenados contribuíram com mais de 40% de todo o alimento produzido no mundo. Desde a invenção da síntese de Haber-Bosch no início do século XX, a população mundial cresceu 4,2 vezes enquanto que a produção de alimentos cresceu 7,8 vezes. A China por exemplo tem o desafio de

alimentar 20% da população possuindo somente 7% da terra arável do planeta e esse é um desafio que persistirá para o planeta enquanto a população mundial continuar crescendo (LIU, 2014).

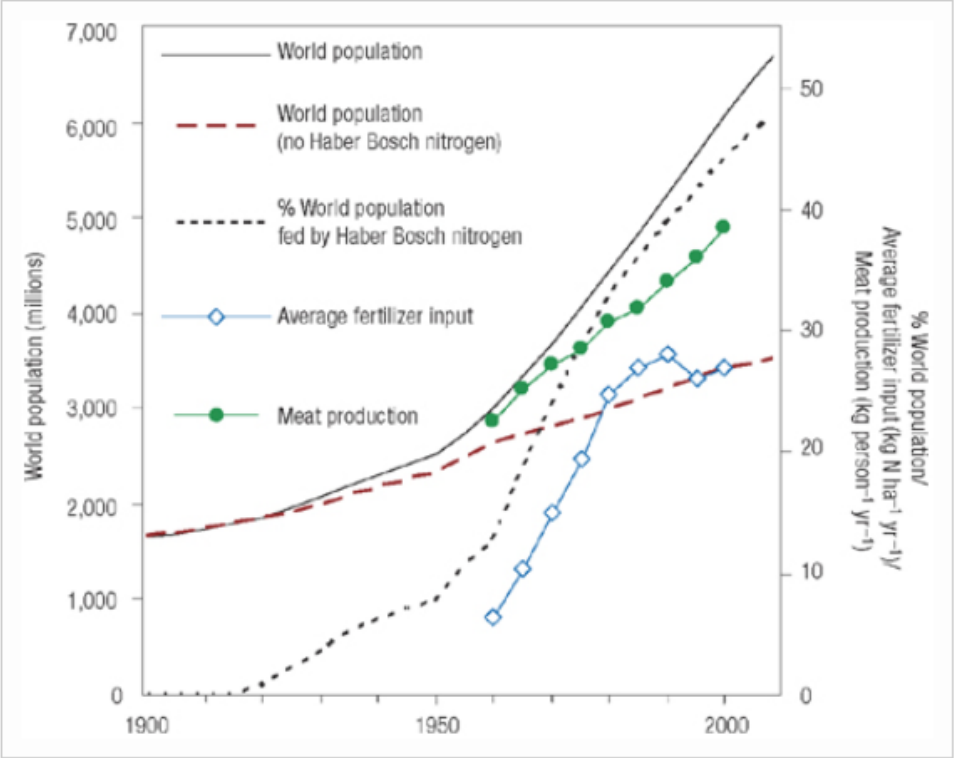


Figura 12. Tendências da população humana e uso de nitrogênio ao longo do século XX
Fonte: *Nature Geoscience* (2008).

Ainda de acordo com Sutton *et al*. (2008), a sustentabilidade ambiental deverá ser o principal direcionador da inovação nesse setor no século XXI. Exemplos de avanços chave incluem mais eficiência na produção de fertilizantes nitrogenados e a redução da dependência do uso intensivo de nitrogênio, bem como o desenvolvimento de suprimento de proteínas e aminoácidos de forma mais eficiente com grandes avanços nos sistemas de agricultura tradicionais. "Será interessante olhar para trás no final do século XXI e identificar outra patente que mudou o mundo da mesma forma que a de *Fritz Haber* em 1908." (SUTTON, 2008).

Com o objetivo de antever alguns resultados, inspirar o estudo que será realizado nesta dissertação e buscando conhecer os *players* que poderiam vir a fazer parte do trabalho, foi realizada uma análise histórica utilizando a base de dados *Patent Inspiration*. Buscou-se também com essa análise, entender quais foram as instituições que desenvolveram tecnologias relacionadas ao processo de

produção de amônia inventado por Fritz Haber e Carl Bosch cuja patente foi publicada em 1908. O critério de pesquisa adotado foi o de fazer parte do grupo de patentes classificadas com o código IPC (*Internacional Patent Classification*) - C01C1/04 que designa as patentes classificadas como: preparação de amônia por síntese. Desde a sua invenção, há diversas empresas e demais instituições que se dedicam ao desenvolvimento de tecnologia nessa área. Na Figura 13 foi destacado o período entre 1997 e 2016/4:

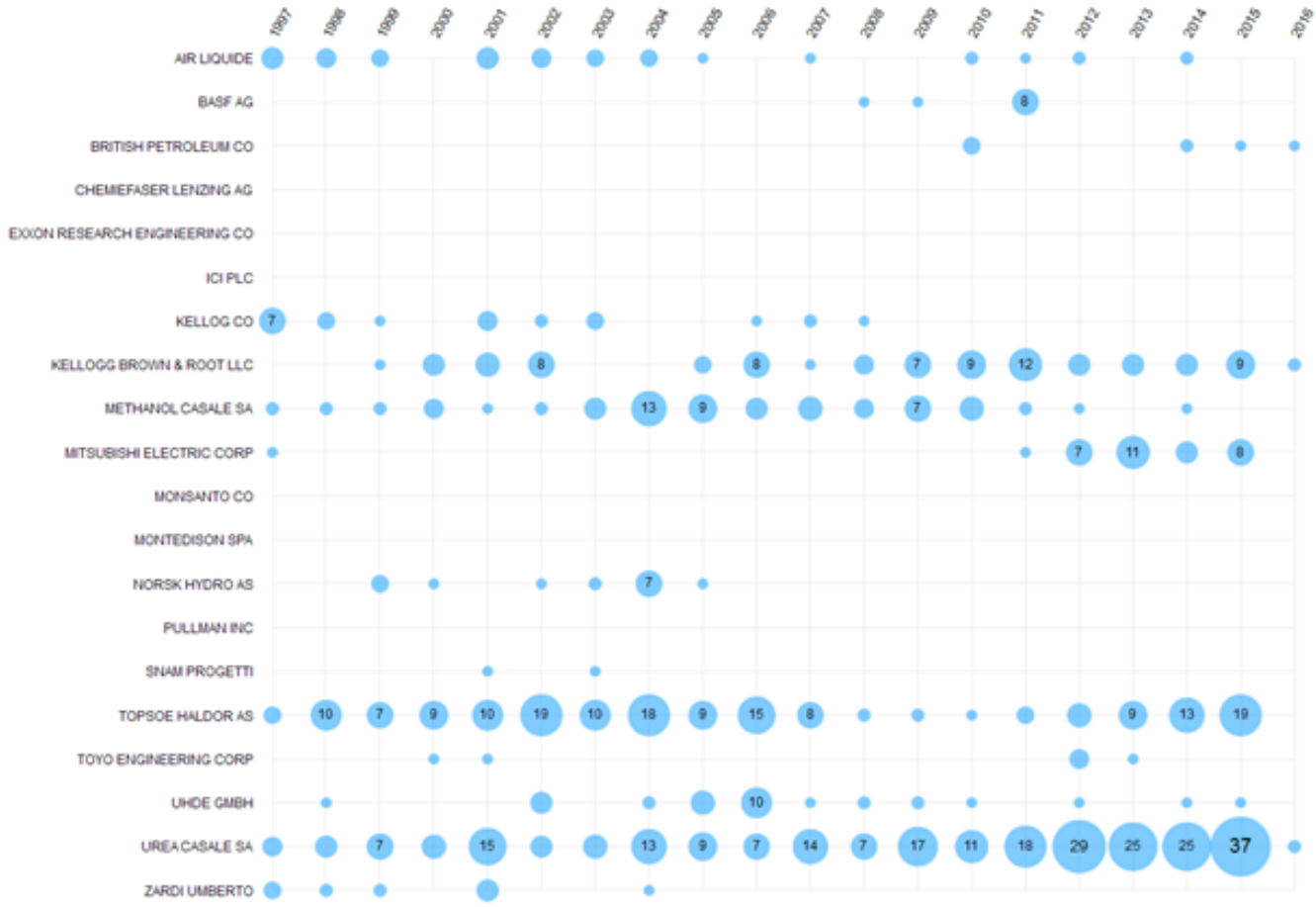


Figura 13. Instituições para as quais houve patentes concedidas com a classificação C01C1/04 para o período entre 1997 e 2016/4

Fonte: Elaboração própria com base nos Relatórios do *Patent Inspiration* (2016).

Foi feito um levantamento histórico desde a primeira patente concedida a Fritz Haber com a classificação C01C1/04 e na Figura 14 esse levantamento é representado de forma qualitativa, destacando as instituições que mais tiveram patentes concedidas com a classificação C01C1/04. Sendo que os autores que

aparecem com letra de maior tamanho são os autores que mais patentes em seu nome possuem.

Figura 14. Instituições com mais patentes concedidas - classificação C01C1/04
Fonte: Elaboração própria - Relatórios do *Patent Inspiration* (2016).

É nesse contexto que será desenvolvido um *RoadMap* para a produção de amônia. O estudo será realizado com base em pesquisas de tecnologias atualmente aplicadas e que foram publicadas em mídia especializada, em um levantamento de unidades em instalação, bem como nas bases de registros norte americana de patentes depositadas e concedidas (*United States Patent and Trademark Office - USPTO*) e de artigos científicos *Scopus.*

1.2 Objetivos do trabalho

Objetivo Geral:

Estudo de prospecção tecnológica sobre a produção de amônia com vistas à elaboração de um RoadMap tecnológico de modo a compreender o estado da arte do setor ao longo do tempo.

Objetivos Específicos:

- Realizar levantamento de artigos científicos;
- Realizar levantamento de patentes solicitadas e concedidas;
- Identificar as tendências tecnológicas para os próximos anos.

Para alcançar tais objetivos, é analisada uma quantidade relevante de documentos técnicos em um horizonte de tempo definido. Esta dissertação explora artigos científicos, assim como, publicações em mídia especializada, além de patentes depositadas (solicitadas) e concedidas.

Serão exploradas também as tecnologias atualmente empregadas em novos empreendimentos em instalação no mundo, bem como os pontos de melhoria no processo que tem sido fonte de pesquisa nos dias de hoje.

Serão apontados os atores da cadeia produtiva da produção de amônia, bem como aqueles diretamente relacionados às suas tecnologias de produção. Os principais processos e as inovações em suas etapas serão apresentados por meio de um *RoadMap* tecnológico, que visa colaborar com informações importantes para a tomada de decisão para o planejamento estratégico de empresas e demais instituições que pretendam exercer algum papel nesse mercado.

A primeira etapa “Fase Pré-prospectiva” é uma fase de pesquisa preliminar de busca menos direcionada, procurando informações acerca do objeto de estudo e que vislumbra a constituição de uma base de informações que suportará a próxima fase. Ela é apresentada nos Capítulos: 1 e 2 desta dissertação.

A segunda etapa, “Fase de Prospecção Tecnológica”, é baseada em uma metodologia definida com palavras-chave específicas (busca mais direcionada), buscas em documentos técnicos (artigos científicos e patentes) e acompanhada por uma análise mais detalhada, em que os documentos encontrados são analisados levando em conta critérios como o ano de publicação, país de origem, tipo de autor e foco sobre o objeto de estudo. E, finalmente, a última etapa é a “Fase Pós-prospectiva”, na qual as análises originadas nas etapas anteriores são classificadas de acordo com uma evolução temporal das tendências observadas, permitindo a elaboração do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia. Todas essas etapas serão detalhadas em cada capítulo específico e ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em 7 capítulos, como mostrado a seguir:

Capítulo 1 - Introdução, objetivo do trabalho e estrutura da dissertação

No capítulo 1 serão abordados aspectos relacionados com a produção de amônia como a história do uso de fertilizantes, o ciclo do nitrogênio e o contexto no qual a amônia está inserida dentre os fertilizantes nitrogenados, sua demanda futura que está associada ao crescimento da população mundial e aspectos relacionados ao Brasil que tem suas peculiaridades na comparação com outras potências agrícolas mundiais.

Capítulo 2 - Revisão bibliográfica

No capítulo 2 serão abordados os aspectos relacionados ao processo de produção de amônia, dos principais países produtores de amônia, bem como as características do Brasil como um dos importantes consumidores de amônia.

Capítulo 3 - Conceitos

No capítulo 3 serão tratados os conceitos com relação à prospecção tecnológica e a teoria relacionada à elaboração de um *RoadMap* tecnológico. São apresentados conceitos desenvolvidos pelos principais autores nessa área, os tipos de *RoadMap* que podem ser realizados e um levantamento que apresenta o quanto essa metodologia vem sendo aplicada nas últimas décadas nos mais diversos setores industriais.

Capítulo 4 - Metodologia

A metodologia para o desenvolvimento do *RoadMap* tecnológico é apresentada no capítulo 4, sendo colocada em prática no desenvolvimento do estudo prospectivo e no *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia.

Capítulo 5 - Construção do *RoadMap* e resultados

No capítulo 5 são apresentados os principais aspectos relacionados à construção do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, bem como os resultados encontrados a partir das análises que podem ser realizadas tendo à disposição o *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, ferramenta de apoio à tomada de decisão produto deste estudo.

Capítulo 6 - Análise pós-*RoadMap* tecnológico

Foi realizada uma análise vertical, levando em consideração os temas pesquisados pelos *players* e uma análise horizontal com relação à disposição dos temas pesquisados ao longo do tempo (estágio atual, curto, médio e longo prazos).

Capítulo 7 - Conclusão e sugestão de trabalho futuro

Os principais pontos observados ao longo da construção do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, bem como a partir da análise do produto final desta dissertação, serão apresentados no capítulo 7.

No próximo capítulo serão abordados aspectos relacionados às tecnologias de produção de amônia, aspectos relevantes na produção de amônia e características do Brasil e dos principais países produtores e consumidores de amônia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 As tecnologias de produção de amônia

A produção de amônia é a base para a produção de outros fertilizantes nitrogenados como mostra a Figura 15 (FOSFERTIL, 2013). Cerca de 80% da produção mundial de amônia é utilizada como fertilizante, na forma de sais de amônio (nitrato, fosfato, sulfato), ureia e demais derivados.

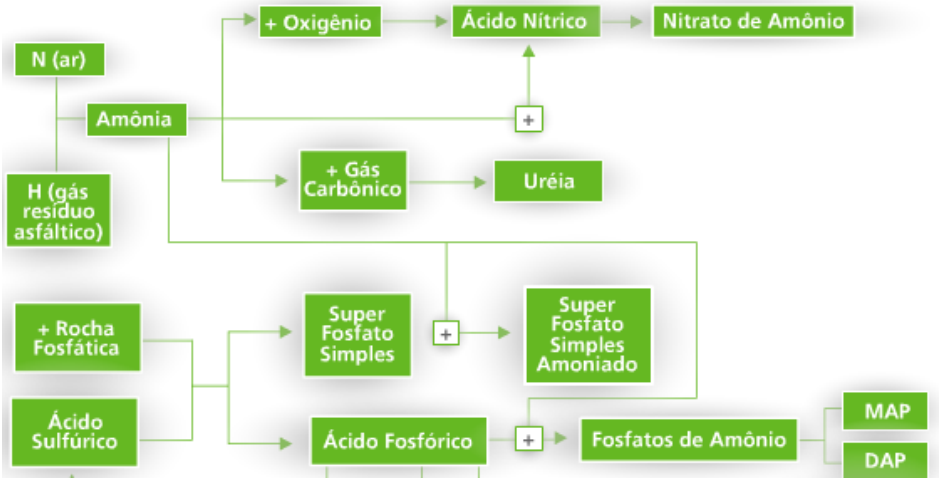


Figura 15. Amônia e a rota para a produção dos demais fertilizantes nitrogenados

Fonte: Fosfertil (2013).

A síntese de amônia, patenteada em 1908, foi uma das maiores invenções da humanidade (SMIL, 2000). O processo denominado como síntese de *Haber-Bosch* foi baseado na reação catalítica do nitrogênio atmosférico com o hidrogênio a pressões e temperaturas elevadas. A reação de síntese da amônia é apresentada na Equação 1.

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3 \qquad \text{Eq. (1)}$$

Esse processo é extensivamente utilizado ainda hoje (MEESSEN, 2011).

Em 1908, Fritz Haber e Le Rossignol projetaram, construíram, modificaram um novo aparelho em que a mistura gasosa de nitrogênio e hidrogênio a 200 atm, introduzida em um reator, onde era pré-aquecida com o calor da reação que ocorre no leito catalítico que posteriormente vai a um separador no qual a amônia era liquefeita e separada; os gases que não reagiram recirculavam para o reator. A fim

de conhecerem o processo de laboratório, Carl Bosch, Alwin Mittasch e Julius Kranz, representantes da BASF foram até o laboratório e veem a máquina funcionar produzindo 2 a 2,5 cm^3 de $NH_3(l)$ por minuto. Segundo os presentes foram momentos dramáticos e após ver a amônia gotejando, *Mittasch* cumprimentou Haber. Em setembro, Haber requer a patente para produção de amônia a pressões maiores que 100 atm (CHAGAS, 2007).

Na Figura 16 está representado o aparato experimental utilizado por Fritz Haber na descoberta da síntese da amônia.

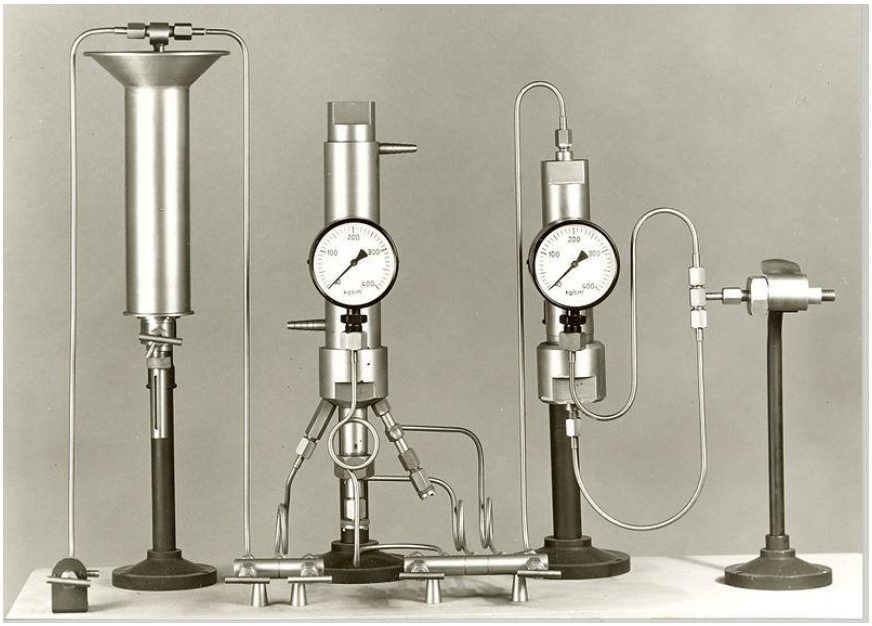


Figura 16. Aparato experimental utilizando por Fritz Haber para a síntese da amônia
Fonte: Museu Judaico de Berlim (2009).

Logo após relatarem à BASF os resultados de Haber, começaram, sob a supervisão de Carl Bosch, os estudos para fabricar amônia pela síntese: ampliar a escala, procurar catalisadores mais baratos e mais eficientes e projetar uma fábrica (CHAGAS, 2007). Em quatro anos a BASF conseguiu transformar o aparelho de bancada de Haber-Le Rossignol, que produzia cerca de 100 g de NH_3 por h, em um convertedor de 8 m, na fábrica de Oppau (próximo a cidade de Ludwigshafen), produzindo 200 kg por h; uma ampliação de escala de 2.000 vezes (SMIL, 2000).

Os primeiros reatores construídos pela BASF, de 2,5 m de comprimento e 15 cm de diametro interno, em aço carbono, já foram um problema: operando a 100 atm (10 MPa) e ~500 °C (~773 K) fragmentavam-se após 8 h de operação. O próprio Bosch, por meio da análise metalográfica, descobriu a causa: o hidrogênio, nestas

condições, difundia-se pelo metal, reagia com o carbono do aço produzindo metano, rompendo o retículo cristalino (não havia na época aço inoxidável). Ele também encontrou a solução: fez o reator em tubos concêntricos (como os canhões). O tubo interno em ferro doce (sem carbono), com menos resistência mecânica porém imune ao hidrogênio, o segundo, envolvendo o interno, de aço carbono com pequenos furos, permitindo a difusão do hidrogênio e dando a resistência mecânica necessária para suportar a pressão (SMIL, 2000).

Na Figura 17 é apresentado um dos reatores da primeira planta de produção de amônia da BASF implantada por *Carl Bosch*.

Figura 17. Reator da primeira planta de produção de amônia exposto na BASF em *Ludwigshafen*
Fonte: www.basf.com (2016).

Encontrar um catalisador barato e adequado foi a tarefa de *Alwin Mittasch* e seus colaboradores. Além do ósmio e urânio, utilizado por *Haber* e *Le Rossignol*, o ferro já havia sido utilizado anteriormente por *Ostwald* e os esforços dirigiram-se nesta direção (CHAGAS, 2007). Foi montado na BASF um laboratório para

desenvolvimento de catalisadores, com aparelhos semelhantes aos de bancada utilizados por *Haber* em *Karlsruhe*, para testar cerca de 2 g de amostra. Era uma tarefa que exigia um trabalho sistemático e repetitivo. Em novembro de 1909, encontraram uma boa amostra, partindo de uma magnetita (Fe_3O_4) sueca. Além do ferro, o mineral continha impurezas de alumínio e sódio. A partir daí foram sintetizando diferentes amostras com diferentes promotores, até que chegaram a um catalisador com Fe, Al_2O_3, K_2O, CaO e MgO. Note que o catalisador era produzido *in situ*, pois os óxidos de vários metais (como o ferro) são reduzidos por hidrogênio nesta temperatura. Até o início de 1912, o laboratório de Mittasch havia feito 6.500 testes com 2.500 diferentes amostras. Este trabalho prolongou-se até 1922, quando chegaram a mais de 20.000 testes e 4.000 diferentes amostras (SMIL, 2000).

O hidrogênio era inicialmente obtido por meio da gaseificação de carvão e passou a ser obtido, a partir de 1953, por meio da reforma a vapor de hidrocarbonetos. O nitrogênio é obtido do ar atmosférico. Na década de 60, foram desenvolvidos projetos conceituais para construir unidades de produção de amônia em larga escala a partir da reforma a vapor de hidrocarbonetos, os quais são aplicados até os dias atuais. No entanto, as novas tecnologias têm sido melhoradas para reduzir o consumo de energia. Diferentes fontes de matérias-primas e combustíveis podem ser utilizadas para produzir amônia, sendo que as opções mais comuns são o gás natural, o gás gerado a partir da gaseificação de carvão, o gás de refinaria, o óleo pesado, a nafta e o coque (MEESSEN, 2011). A decisão sobre qual matéria-prima para a produção de hidrogênio utilizar baseia-se principalmente no custo e na localidade onde a planta será instalada. Considera-se que o processo de produção de amônia se divide em 2 passos principais que são a preparação do gás de síntese bem como a síntese e separação da amônia. O primeiro passo se subdivide em 3 passos secundários:

- Preparação do gás de síntese composto de nitrogênio e hidrogênio na proporção molar de 1 para 3:
    - Conversão da matéria-prima;
    - Conversão do monóxido de carbono;
    - Purificação do gás.
- Síntese e separação da amônia.

Um fluxograma simplificado da produção de amônia pela reforma a vapor de gás natural ou nafta é apresentado na Figura 18 (MEESSEN, 2011):

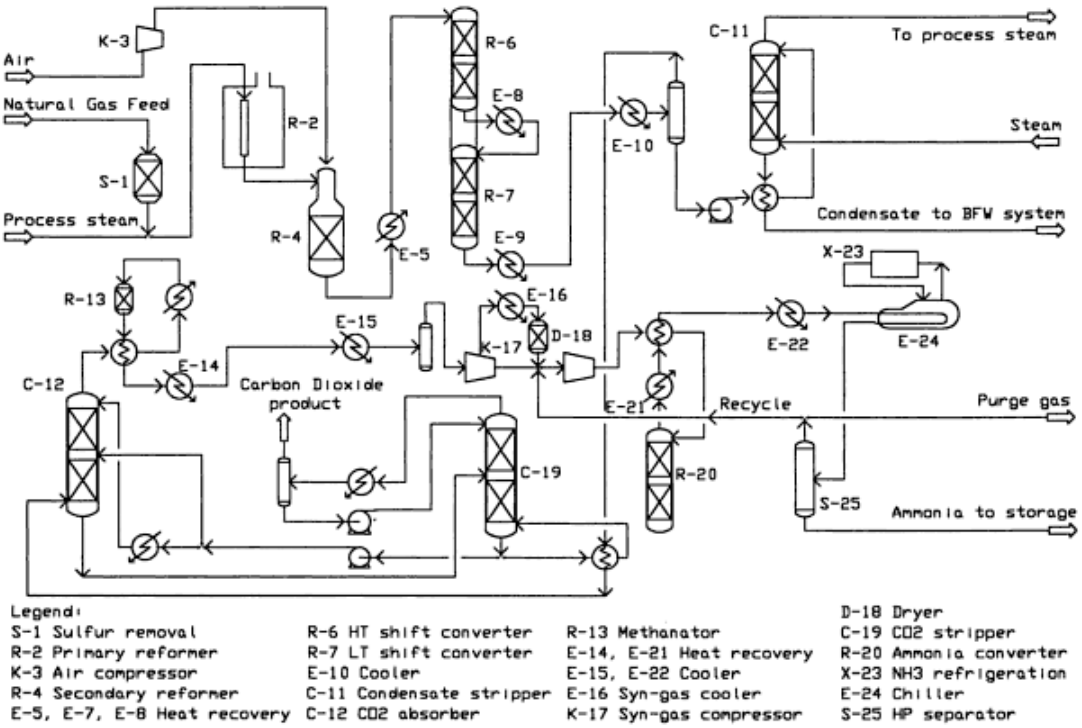


Figura 18. Fluxograma simplificado da produção de amônia pela reforma a vapor

Fonte: Meessen (2011).

O processo de produção de amônia envolve as operações principais: i) conversão de hidrocarbonetos em gás de síntese (etapas de reforma) envolvendo: S-1, R-2, R-4 K-3, E-5 do fluxograma; ii) conversão de CO a CO_2 mediante reação com vapor d'água envolvendo E-9, E-10 e C-12; iii) remoção de CO_2 envolvendo C-19 e, finalmente, a síntese da amônia que envolve R-6, R-7 e E-8 do fluxograma.

Atualmente, a maior parte das unidades de produção e amônia produzem o hidrogênio por meio do processamento de gás natural (SMIL, 2000). Para utilizar o gás natural, faz-se necessária uma etapa de purificação, na qual o H_2S e o CO_2 devem ser removidos, pois a presença de H_2S reduz a atividade catalítica. O H_2S pode ser retirado por adsorção em óxido de ferro ou carvão ativo. Já o CO_2 é eliminado por absorção em MEA (monoetanolamina) ou DEA (dietanolamina) (MEESSEN, 2011).

Para a conversão dos hidrocarbonetos em gás de síntese, utiliza-se uma reforma catalítica em duas etapas. Na reforma primária, cerca de 75% do gás é

reformado e 25% é utilizado como combustível. A reação ocorre na presença de catalisadores, entre 790 ºC e 880 ºC, com pressões de 38 a 42 bar. Deve haver excesso estequiométrico de vapor d'água a fim de evitar reações laterais como coqueamento (MEESSEN, 2011). A reação da reforma é dada pela equação 2:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + H_2, \quad \Delta H = 49{,}3 \text{ kcal/mol} \qquad \text{Eq. (2)}$$

A reação é finalizada no reformador secundário. A reforma secundária é uma oxidação parcial, cujo principal objetivo é introduzir o N_2 na corrente gasosa para chegar a etapa de síntese com a relação H_2:N_2 de 3:1. O gás oriundo da reforma primária alimenta a reforma secundária a 900 ºC. A temperatura de reação pode chegar a 1400 ºC. A reação ocorre em duas etapas. Na primeira, há reação do hidrogênio com o oxigênio, gerando energia. A segunda etapa, endotérmica, é uma reação entre a água gerada na primeira reação e o metano, produzindo gás de síntese (MEESSEN, 2011).

Após a etapa de separação do CO_2, o sistema é constituído por H_2, N_2 e traços de CO, CO_2 e CH_4. É necessária uma etapa de metanação para eliminar os traços de CO e CO_2, pois os mesmos são prejudiciais aos catalisadores durante a etapa de síntese da amônia. O processo ocorre em duas etapas: a primeira, em temperaturas mais altas, favorece a cinética da reação; a segunda, em temperaturas mais baixas, favorece o equilíbrio. A metanação é a reação inversa da reforma (MEESSEN, 2011).

Em escala industrial, a reação de síntese da amônia ocorre em reatores pressurizados em um processo cíclico (*loop*), no qual a amônia formada é removida continuamente e os gases não reagidos retornam ao reator. Além da amônia, gases inertes e o calor formado devem ser retirados do processo. O excesso de calor desta reação pode ser aproveitado para aquecer o gás de síntese de alimentação, assim como para a geração de vapor. Há perda de pressão durante a passagem pelo *loop*, e esta é compensada pela compressão da carga de alimentação do reator (BUCHEL, 2003).

A reação de síntese ocorre entre 400 ºC e 500 ºC e a pressão varia entre 250 bar e 350 bar. A reação é exotérmica, portanto, temperaturas baixas favorecem o equilíbrio no sentido da produção de amônia. Temperaturas altas aumentam a taxa

de reação. Temperaturas superiores a 530 ºC podem danificar o catalisador. Diversos tipos de reatores podem ser utilizados: tubular paralelo, tubular contra corrente e de leito fixo (BUCHEL, 2003).

2.2 Aspectos relevantes na produção de amônia e características do Brasil e dos principais países produtores e consumidores de amônia

A produção de fertilizantes no mundo utiliza 1,2% de todo consumo mundial de energia (KOOL *et al*., 2012). Aproximadamente 92,5% dessa energia é usada para produção dos fertilizantes nitrogenados. Grande parte dessa energia é usada para produção de amônia, como matéria-prima e combustível, por se tratar de um processo que requer elevado consumo de energia (POTASHCORP, 2013). Na Figura 19, são apresentados os fatores que mais influenciam na produção de amônia e os principais países produtores, sendo o custo do gás e o frete até os portos os dois principais motivadores para tal cenário. Devido à dificuldade logística e aos custos de transporte, a maior parte da amônia produzida é consumida nos mercados domésticos (POTASHCORP, 2013).

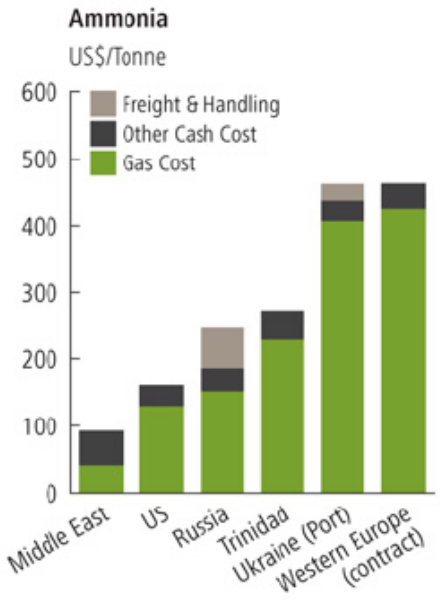


Figura 19. Custos de produção de amônia nos principais mercados produtores

Fonte: Potashcorp (2013).

O nitrogênio em sua forma inerte é uma matéria-prima com alta disponibilidade em qualquer lugar do mundo por ser o mais abundante constituinte

do ar, no entanto converter nitrogênio atmosférico em amônia requer o suprimento adequado e viável de matéria-prima para a geração de energia, por isso esse é um fator de crucial importância para os produtores de amônia. Na Figura 20 é possível observar que os hidrocarbonetos são a matéria-prima mais comumente utilizada na produção de amônia. Em 2018, o gás natural contribuirá para 66% da produção mundial de amônia. Projeta-se que o carvão contribuirá com outros 30% e outras matérias-primas como nafta e gasóleo entrarão em declínio, como mostra a Figura 20 (IFA, 2014):

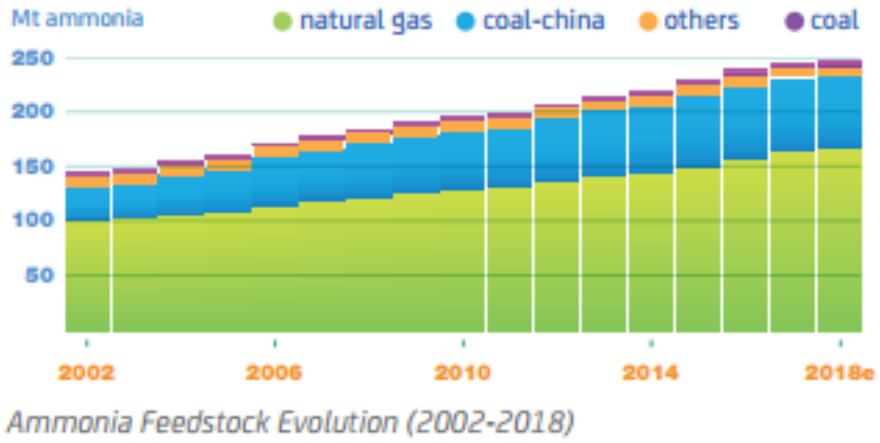


Figura 20. Evolução das matérias-primas para a produção de amônia

Fonte: IFA (2014).

Os preços internacionais de nitrogênio e hidrogênio são predominantemente determinados pelos países produtores da Europa Ocidental e Ucrânia, país com grandes reservas de gás natural, da mesma forma que os preços de petróleo são determinados pelos principais países produtores e exportadores de petróleo. O aumento da demanda interna por energia na China causou um aumento de custos e os preços de gás natural no país subiram 25% em 2010. A situação americana é mais confortável, pois os recentes desenvolvimentos na exploração de *Shale gas*, tem reduzido os custos de produção de gás natural a medida que os preços da amônia no mercado aumentam, abrindo oportunidades para a expansão de unidades existentes e a instalação de novas plantas como mostra a Figura 21 (POTASHCORP, 2014).

Como é possível observar na Figura 22, os preços mundiais do gás natural passaram a diminuir ainda mais depois de 2014 e chegaram a sua mínima histórica em março de 2016. Já no segundo semestre de 2016 voltam a aumentar e estão aproximadamente no mesmo patamar de 2013 (NASDAQ, 2016).

Figura 21. Custos do gás natural *versus* preço da amônia nos EUA

Fonte: Potashcorp (2014).

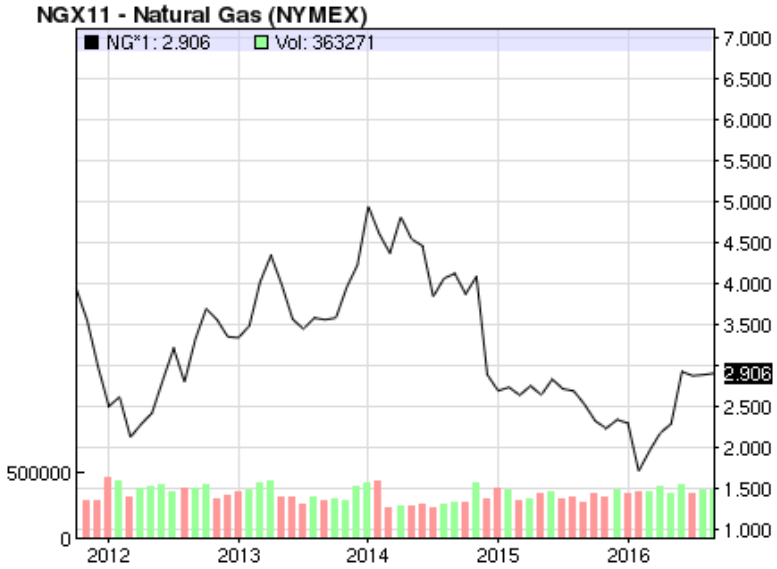


Figura 22. Preço da amônia nos EUA

Fonte: NASDAQ (2016).

Em relação às demandas regionais, se está prevendo um aumento mais acentuado em determinadas regiões conforme apresenta a Figura 23, em preto está a previsão do consumo mundial de fertilizantes no ano de 2019/20 em relação ao consumido em 2014/15. No entanto, espera-se que a China e a Índia, grandes consumidores mundiais, apresentem uma desaceleração no aumento do consumo

de fertilizantes nos próximos anos, já que a China limitou o aumento do uso de fertilizantes em 1% ao ano desde setembro de 2015 e a Índia, anunciou que não irá expandir a política de subsídios à produção de fertilizantes no país. Ainda assim é projetada uma expansão importante na demanda na Ásia sustentando o cenário de aumento na demanda mundial para os próximos anos (IFA, 2015).

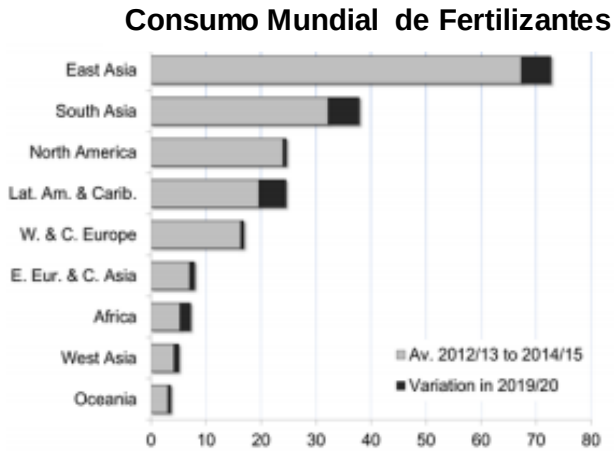


Figura 23. Expectativa de crescimento da demanda por fertilizantes

Fonte: IFA (2015).

A China é responsável por 95% da produção mundial de amônia a partir do carvão como matéria-prima, conforme apresenta a Figura 24. Tendo em vista suas grandes reservas de carvão mineral, as tecnologias de gaseificação de carvão têm sido amplamente desenvolvidas naquele país, o que tem possibilitado seu uso intensivo. A produção de amônia baseada em carvão representa 86% da produção de amônia chinesa, e espera-se um incremento de 5% na sua produção nos anos de 2014 a 2016. No entanto, a partir de 2016 espera-se que o uso desse tipo de processo desacelere (IFA, 2014).

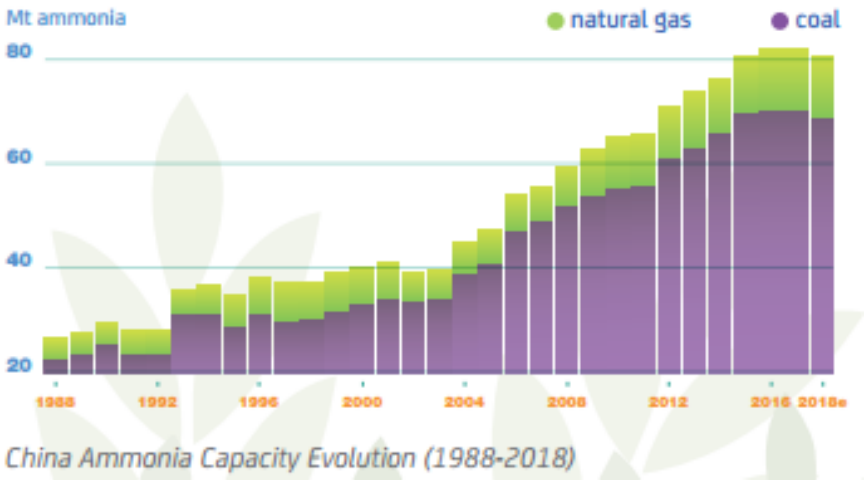


Figura 24. Evolução da capacidade chinesa de produção de amônia

Fonte: IFA (2014).

A indústria de amônia da Índia existe há mais de 50 anos. O período inicial de desenvolvimento teve foco em garantir a autossuficiência, pois era um produto escasso no mercado e todos grandes produtores visavam abastecer o mercado interno. A segunda fase de desenvolvimento ocorreu nos anos 70 e 80, quando houve a necessidade de reunir esforços para melhorar a confiabilidade e a eficiência de produção fabril, pois o custo da energia estava em alta, devido à crise internacional do petróleo. Estes esforços tiveram desdobramentos até os anos 80. (NAND; GOSWAMI, 2008).

A Rússia por sua vez produz cerca de 10,3 milhões de toneladas de amônia por ano (USGS, 2015). O mercado de fertilizantes da Rússia é voltado para exportação. Do total de todos os fertilizantes produzidos, NPK - baseados em Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) - cerca de 79% é exportado (ENIKEEVA, 2011). Ainda segundo Enikeeva (2011), essa produção foi de 13,3 milhões de toneladas em 2010. Destes 13.3 milhões, 3,1 milhões de toneladas foram dedicados à exportação (sob a forma de amônia). Há projeção de aumento de capacidade de produção de amônia na Rússia de 5,2 % até 2020.

Os Estados Unidos é um grande consumidor de amônia mundial e a produção doméstica não é capaz de atender à demanda interna. Por isso, 36% de toda a amônia consumida no país em 2014 foi importada, sendo 60% das importações advindas de Trinidad e Tobago (USGS, 2015). As estatísticas em relação ao ano de 2014 são apresentadas na Tabela 2 (USGS, 2015):

Tabela 2. Produção, importação, exportação e consumo de amônia nos EUA

Estatísticas - Estados Unidos	2014 (mil ton.)
Produção de Amônia	9.330
Importações para Consumo	4.150
Exportações	111
Consumo Aparente	13.300

Fonte: Adaptado de USGS (2015).

Em 2014, os produtores de amônia nos Estados Unidos operaram suas plantas com capacidade produtiva de 80% sendo que 60% de toda a amônia produzida no país foi proveniente dos estados de Louisiana, Oklahoma e Texas por conta das suas grandes reservas de gás natural, matéria-prima dominante na produção de amônia no país (USGS, 2015).

Impulsionado pelo incremento da produção de gás proveniente do xisto e da redução do preço do gás natural, os Estados Unidos vêm, desde 2012, anunciando uma quantidade importante de investimentos em nova capacidade de produção de amônia no país (IFA, 2014). Como o preço do gás natural tem se mantido relativamente baixo, como mostra a Figura 25, foi constatado aumento no consumo de gás natural para a produção de fertilizantes nos Estados Unidos de 24% no período de 2009 a 2014. O crescimento projetado para 2016 é de 3,9% em relação a 2015, isso devido à reativação de plantas existentes e à entrada em operação de novas unidades. A Figura 26 mostra as novas unidades de produção de amônia e ureia que devem entrar em operação ou retomar a produção nos Estados Unidos em 2016 segundo a *Energy Information Administration* (EIA, 2015).

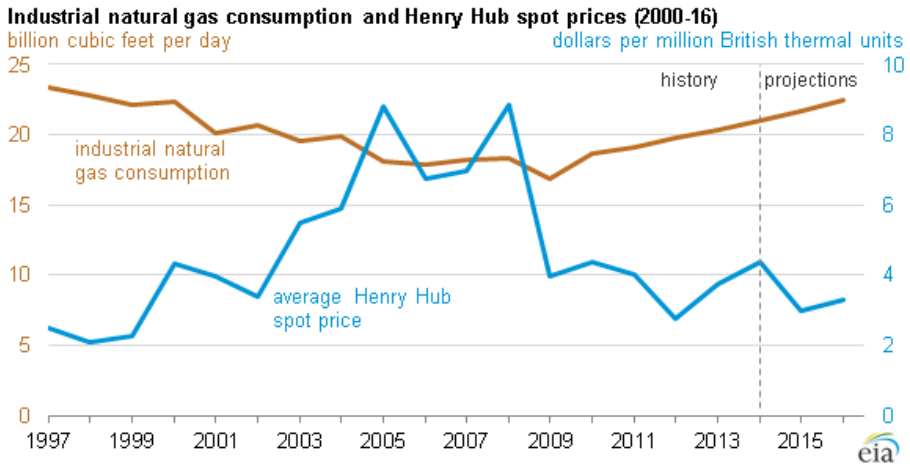
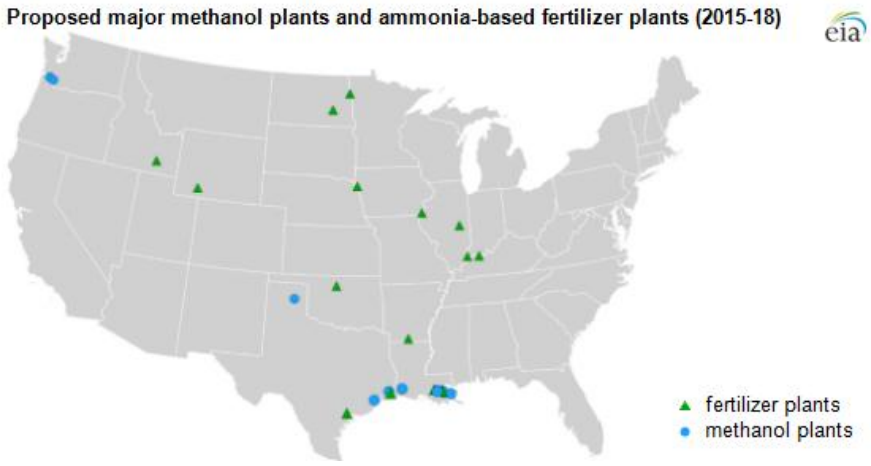


Figura 25. Manutenção dos baixos preços do gás natural nos EUA e expansão do consumo industrial

Fonte: EIA (2015).

Figura 26. Novas plantas de produção de fertilizantes e metanol previstas para entrar em operação ou retomar a produção em 2016



Fonte: EIA (2015).

Além do incremento na produção de *shale gas*, os Estados Unidos possuem uma malha de dutos para distribuição de gás que favorece a instalação de novas unidades de produção de amônia, pois possui interligações entre praticamente todas as regiões estratégicas para a produção de fertilizantes no país como é possível observar na Figura 27 (EIA, 2013). Essa característica faz com que os custos logísticos sejam reduzidos, além de possibilitar a instalação das unidades de produção de amônia próximas da demanda; fronteiras agrícolas ou da matéria-prima; áreas em que é explorado o gás proveniente do xisto (OBERZINER, 2011).

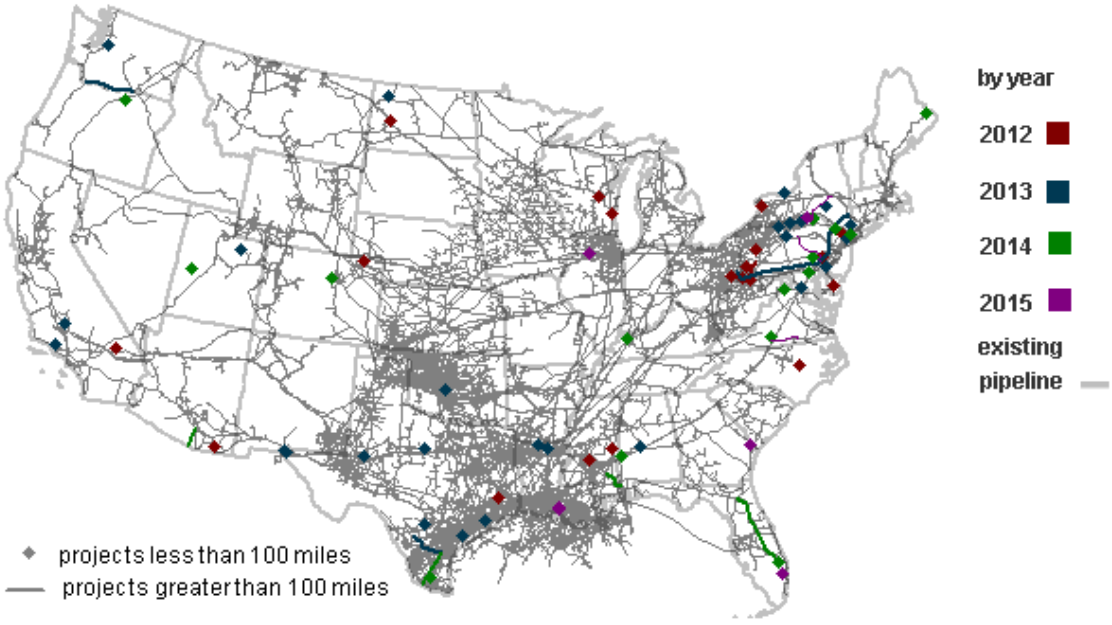


Figura 27. Malha de dutos dos Estados Unidos

Fonte: EIA (2013)

Desde a década de 90, o Brasil vem se transformando em uma potência agrícola mundial, com grande expansão das suas exportações em relação às importações, como mostra a Figura 28 adaptada do Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2016).

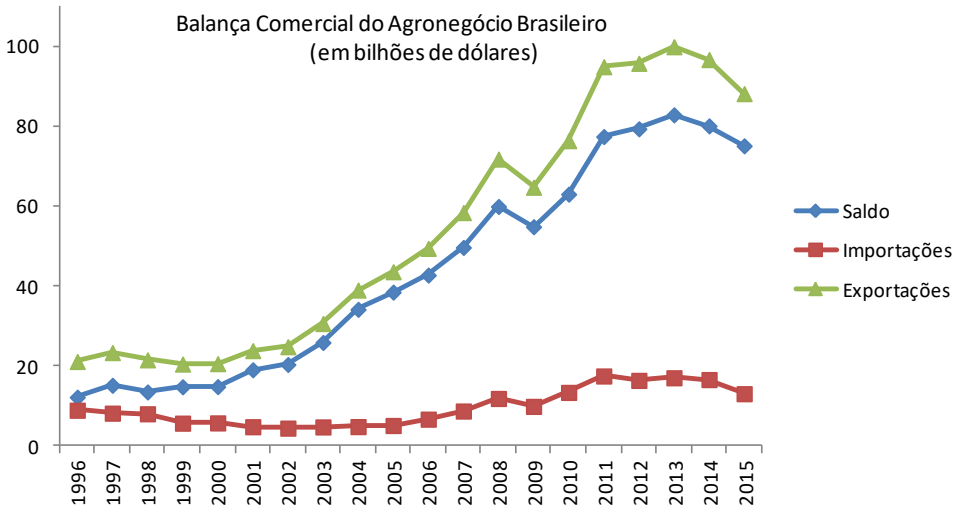


Figura 28. Saldo da Balança Comercial Brasileira do Agronegócio

Fonte: Adaptada de MDIC (2016).

Em 2010, o Brasil consumia 6% da produção mundial de fertilizantes e 3% de toda a produção de fertilizantes nitrogenados. Já a produção brasileira de fertilizantes nitrogenados equivalia a 1% da mundial, sendo assim, 2 terços do consumo de fertilizantes nitrogenados brasileiro era importado (ANDA, 2010). De acordo com um levantamento feito com dados atualizados do MDIC o Brasil importou 75% da quantidade de fertilizantes consumida pelo país em 2014, o que reafirma o país como um importador de fertilizantes. Dessa forma, a tendência de déficit é amplificada já que o consumo se expandiu ainda mais e não houve entrada de novas unidades em produção como pode ser observado na Figura 29 que apresenta a balança comercial (exportações e importações) dos fertilizantes N, P, K e NPK entre 2003 e 2014 (FARIAS, 2015).

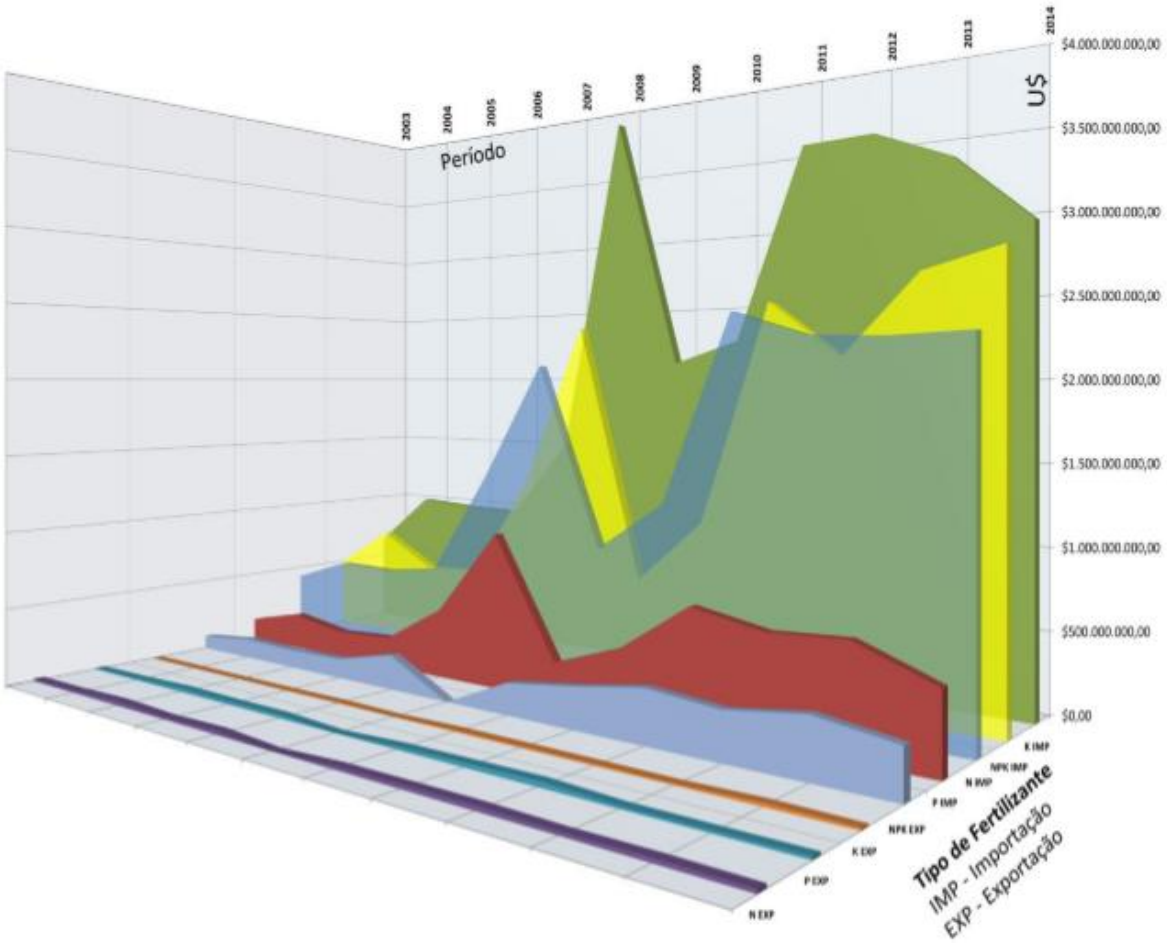


Figura 29. Balança comercial brasileira de fertilizantes - 2003 a 2014

Fonte: Adaptado de MDIC por FARIAS (2015).

Com relação à disponibilidade de gás natural no Brasil para a produção de amônia, o país vem observando alguns avanços principalmente na maior disponibilidade do gás associado à produção de petróleo, sendo que 61,7% do gás natural associado produzido está disponível e ainda são queimados (média para o ano de 2014) 5,2% do gás associado ao petróleo produzido no país, como mostram as Figuras 30 e 31 da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP, 2014).

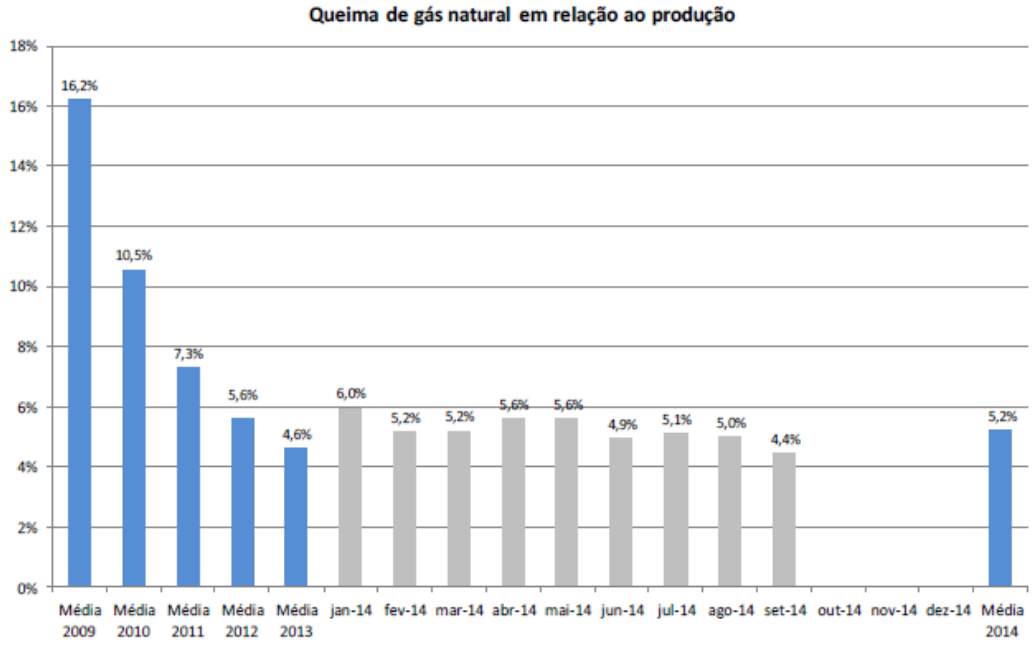


Figura 30. Queima de gás natural em relação à produção

Fonte: ANP (2014).

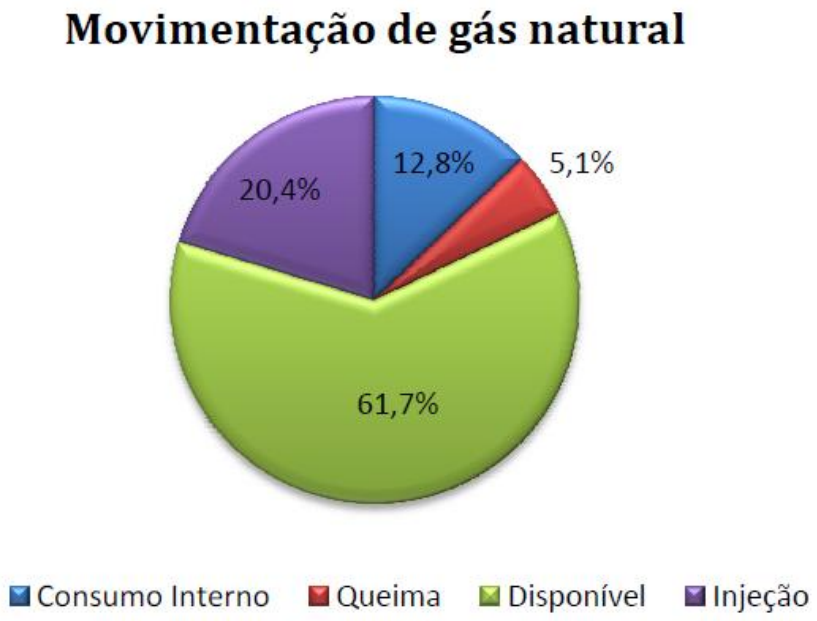


Figura 31. Movimentação de gás natural no Brasil

Fonte: ANP (2014).

De acordo com a Figura 32 adaptada por Santos *et al* (2016) a partir de relatório da EPE de 2014, apresenta-se que a malha de dutos brasileira por ser insuficiente e por carecer de interligações desfavorece a implantação de projetos consumidores de gás como plantas produção de amônia e de transformação

química em regiões estratégicas do país. Esse mesmo aspecto já foi abordado por Oberziner (2011) e desde então não houve mudanças significativas com relação a este aspecto, já que em 2016 a mesma conclusão pode ser extraída do relatório de infraestrutura de gasodutos de transportes no Brasil, elaborado pela Empresa de Pesquisas Energéticas.

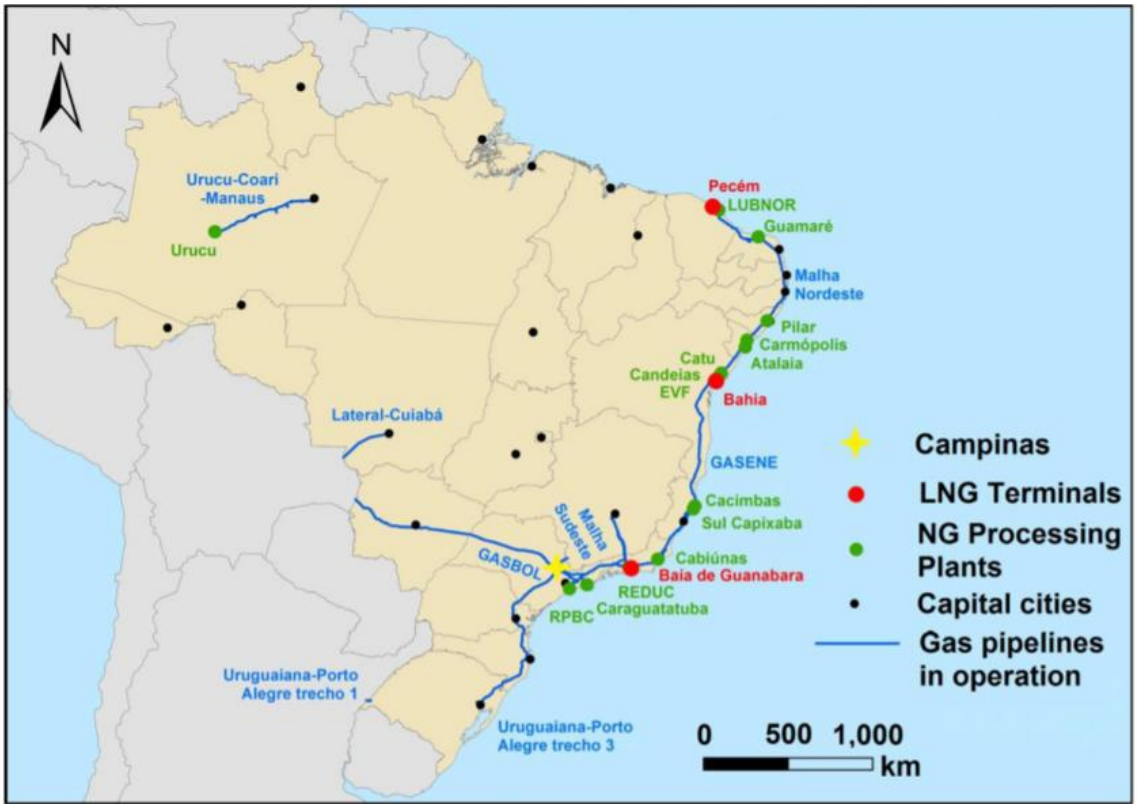


Figura 32. Malha de dutos brasileira

Fonte: Adaptado de EPE (2014) por Santos (2016)

A Petrobras, maior empresa nacional de petróleo e gás (2015) projeta aumento na oferta de gás natural no Brasil, por meio da implantação de projetos de produção de petróleo nos campos do pré-sal, outros campos da própria Petrobras e de parceiros como se pode observar na Figura 33.

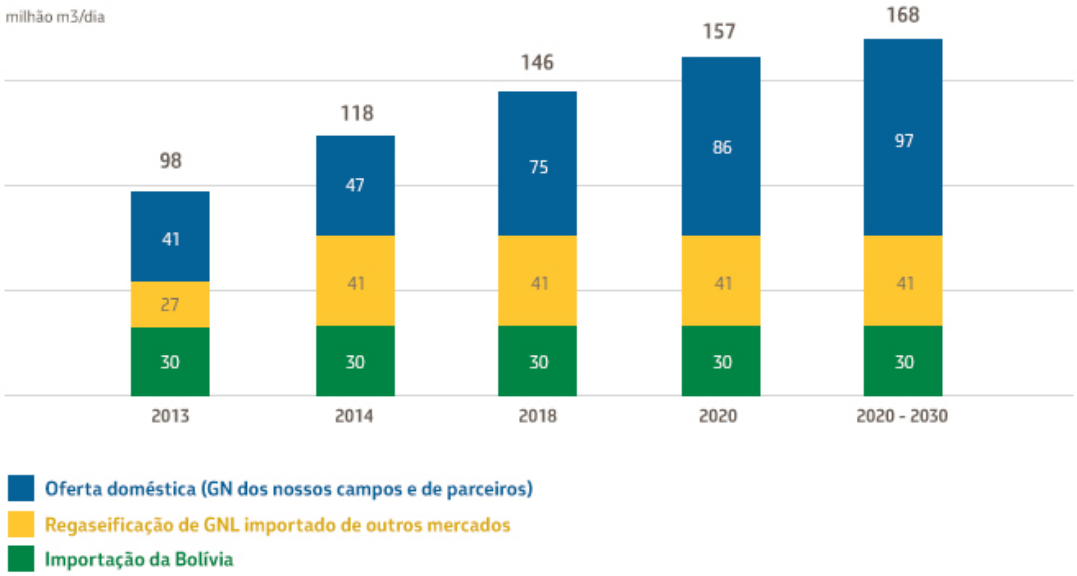


Figura 33. Projeção da oferta de gás natural no Brasil

Fonte: Petrobras - Plano Estratégico 2030 (2014).

A ANP (2014) também estima aumento da disponibilidade de gás natural no país proveniente principalmente das novas fronteiras exploratórias de petróleo e gás como por exemplo as do pré-sal, que estão sendo exploradas como se pode observar na Figura 34:

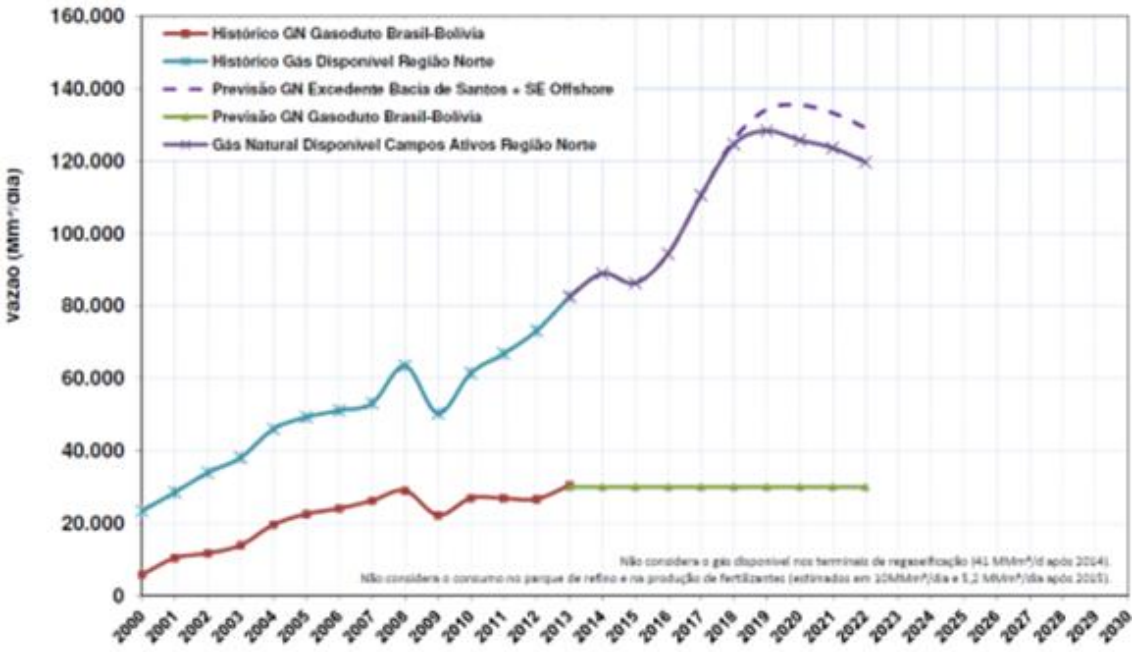


Figura 34. Histórico e projeção da oferta de gás natural no Brasil

Fonte: ANP (2014).

No Brasil, empresas como a Petrobras e a Fosfertil foram os principais agentes na estruturação da indústria nacional de fertilizantes. A Petrofértil (criada em 1976, subsidiária da Petrobras) incorporou todas as empresas do setor por meio de aquisições, de modo que em 1983 a Ultrafértil, Nitrofértil, Goiásfertil e Fosfértil estavam sob seu controle. A Fosfértil foi criada em 1977 como uma subsidiária da Petrofértil a fim de operar fosfato em Patos de Minas (MG) e incorporou a Valefértil e a Valep em 1979. Todas estas foram privatizadas na década de 90 (KULAIF; FERNANDES, 2010).

Desde os anos 80, não ocorreram mudanças que causassem impactos consideráveis à capacidade de produção de fertilizantes nitrogenados no Brasil. Não houve investimentos na indústria capazes de aumentar a produção de amônia depois da instalação da Fafen-BA (1971), da Fafen-SE (1982) e da Fafen-PR (1982) (FARIAS, 2015). Atualmente, há quatro plantas de produção de amônia no Brasil, sendo que duas utilizam o gás natural como matéria-prima – a FAFEN-BA, em Camaçari, BA, e a FAFEN-SE, em Laranjeiras, SE - ambas da Petrobras. As outras duas utilizam gás de refinaria e resíduo asfáltico (RASF) respectivamente - a primeira localiza-se em Cubatão, SP, e pertence a Vale Fertilizantes já a segunda, adquirida em 2013 pela Petrobras fica em Araucária, PR. (PETROBRAS, 2011).

Na Figura 35 é possível acompanhar o histórico de produção de amônia (para fertilizantes), e de outros fertilizantes nitrogenados (FARIAS, 2015).

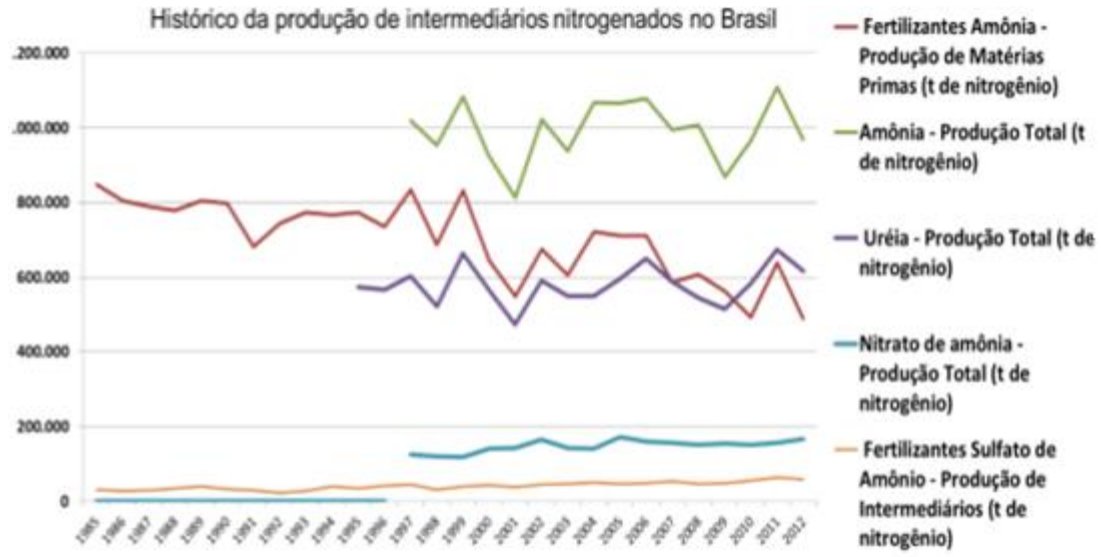


Figura 35. Histórico da produção de fertilizantes nitrogenados no Brasil

Fonte: Adaptado de MDIC por FARIAS (2015).

Segundo o ex-presidente da Petrobras, José Sérgio Gabrielli em 2011, “Mais da metade do mercado nacional de gás depende da expectativa de chuva, então você não tem certeza nunca qual é a quantidade de gás que vai ser usada nas termoelétricas. A Petrobras é a maior investidora neste mercado e tem planos de expandir a produção de fertilizantes nitrogenados no país. A companhia está construindo três plantas de produção de amônia, que vão levar o Brasil a ser autossuficiente em amônia em 2015. O objetivo dos empreendimentos na área de fertilizantes é melhorar a rentabilidade para a Petrobras, otimizando o consumo do gás produzido pela empresa” (PETROBRAS, 2011). Como as previsões não foram cumpridas, sendo que nenhuma das 3 plantas anunciadas tiveram suas obras concluídas, o país mesmo tendo maior disponibilidade de gás, continua dependendo de importações para atender a demanda do agronegócio brasileiro por fertilizantes nitrogenados. Em agosto de 2015, a Petrobras anunciou oficialmente que o projeto da Unidade de Fertilizantes Nitrogenados III (UFN III) em Três Lagoas - MS, está parado com 80% de avanço físico concluído e que a Petrobras objetiva sua conclusão através de uma reestruturação do negócio que não onere a Companhia. Já o projeto da Unidade de Fertilizantes Nitrogenados V (UFN V) em Uberaba - MG, com aproximadamente 30% de avanço físico concluído, está suspenso. Entre os fatores que levaram a esse estágio de hibernação está o adiamento sucessivo dos compromissos assumidos pela Gasmig para construção do gasoduto que forneceria gás natural à planta. A estatal mineira não apresentou evidências de que irá construir o gasoduto no prazo e nas condições acordadas no contrato celebrado com a Petrobras que, por sua vez, se vê impedida de assumir os riscos associados à finalização da planta sem que haja uma revisão, com a Gasmig, das condições adequadas para o suprimento de gás para a fábrica. A Petrobras entende que, atualmente, o investimento na construção desse projeto, com base na relação custo–benefício, não se mostra adequado em comparação a outros negócios da Companhia (PETROBRAS, 2015). Já a Unidade de Fertilizantes Nitrogenados IV a ser instalada em Linhares - ES (UFN IV), empreendimento que estava nos planos da companhia em 2011 nem sequer teve suas obras iniciadas. Portanto, a curto prazo, a capacidade produtiva do país deve permanecer a mesma dos últimos trinta anos, com o incremento da demanda de amônia sendo atendida via importações.

Finalizada a revisão bibliográfica que trata sobre os aspectos relacionados à produção de amônia e informações sobre os mercados produtores e consumidores, além de retratados os aspectos em relação ao Brasil, será apresentado um capítulo dedicado aos conceitos que suportam a construção do *Roadmap* tecnológico para a produção de amônia, bem como a metodologia que foi empregada nesta dissertação e que será apresentada no capítulo 4.

No próximo capítulo serão apresentados os conceitos sobre a Gestão do Conhecimento, a Inteligência Competitiva, os Estudos de Prospecção Tecnológica, os Cenários Prospectivos e a metodologia de *RoadMapping* Tecnológico. Será possível observar exemplos dos vários tipos de *RoadMap* que podem ser elaborados e como a ferramenta tem sido utilizada mundialmente em diversos setores.

3 CONCEITOS - Gestão do Conhecimento, Inteligência Competitiva, Cenários Prospectivos, Estudo de Prospecção Tecnológica e *RoadMapping* Tecnológico

Gestão do Conhecimento

O tema gestão do conhecimento faz fronteira com as diversas áreas de conhecimento das organizações, sendo multidisciplinar por excelência. O grau de conhecimento das organizações considera o conjunto de competências das diversas áreas que as compõem, tais como planejamento, mercado, operações, finanças e capital humano, dentre outras. Tais áreas, no seu conjunto, quando devidamente aplicadas, deverão permitir que as organizações estejam em condições de obter vantagens competitivas. Nos anos 80, este tema tornou-se mais presente, devido ao advento das abordagens teóricas relacionadas à sociedade do conhecimento, ao aprendizado organizacional e às competências essenciais na gestão estratégica (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

Ainda, de acordo com Borschiver & Lemos (2016), para se entender o processo de gestão do conhecimento, o primeiro passo é conceituar as diferenças entre dado, informação e conhecimento.

Na definição das autoras, o dado é um registro acerca de um determinado evento para o sistema. Mesmo em grande quantidade, é facilmente obtido, armazenado e catalogado com as modernas tecnologias. Entretanto, o dado carece de valor por ser um evento fora do contexto e sem significado para o sistema. Para que os dados se tornem úteis como informação é necessário que a pessoa possa correlacioná-los e atuar sobre eles. Assim, eles se tornam uma forma de observação sobre o estado do mundo.

Por outro lado, informação é um conjunto de dados, os quais devidamente processados são providos de um determinado significado e contexto para o sistema. Entretanto, apesar da relevância e propósito, carecerá de valor se faltar a riqueza da interpretação. A informação é um fluxo de mensagens e, por meio dela, não só se extrai, como também se constrói o conhecimento.

O valor não está na informação armazenada, mas na criação de conhecimento de que ela pode fazer parte. Informação é a disposição dos dados de tal forma que possuam sentido, criando padrões e ativando significados na mente das pessoas (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

Conforme Drucker[1], informação são dados que possuem relevância e propósito, aos quais, depois de coletados, organizados e ordenados, são atribuídos significados e contexto. Para que os dados se transformem em informação é fundamental que as correlações entre os vários fatos e suas implicações para os indivíduos e para a organização sejam evidenciadas, tornando-se visíveis e explícitas. No entendimento de Drucker, para que dados sejam convertidos em informações, é preciso perguntar do que se necessita, de quem, quando e de que forma, além da certeza de que aqueles que podem prover as informações conhecem e compreendem suas responsabilidades.

Conhecimento é a capacidade de aplicar a informação a um trabalho ou a um resultado específico. Conhecimento é informação internalizada pela pesquisa, estudo ou experiência que tem valor para a organização. No entendimento de Davenport[2], conhecimento é a informação valiosa da mente combinada com experiência, contexto, interpretação e reflexão (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

Inteligência Competitiva

A inteligência competitiva compreende um processo de análise e repasse das informações do ambiente interno e externo para toda a organização, utilizando um processo sistemático que converte dados e informações em conhecimento estratégico. Não visa somente analisar as condições do mercado ou do seu concorrente, mas sim avaliar o desempenho do concorrente, do governo, de suas políticas públicas, agências governamentais, instituições acadêmicas, institutos de pesquisa. Dentro deste ambiente, produz informações que consigam fazer com que a instituição supere-os, mesmo que as condições de mercado estejam igualitárias. Essas vantagens são conquistadas através da inteligência competitiva relacionada com o uso de tecnologias que consigam analisar e prover as informações para a instituição que investe nessa área (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

[1] Peter Drucker, (1909-2005) foi um escritor, professor e consultor administrativo austríaco. É considerado um dos maiores expoentes da administração moderna. Foi um dos estudiosos que estabeleceu a administração como ciência.

[2] Thomas H. Davenport é um autor norte-americano e escreve livros que tratam de sistemas de informação, mais precisamente da gestão da tecnologia da informação. Escreveu junto com Laurence Prusak o *best-seller* "Conhecimento Empresarial", que aborda a gestão do conhecimento. É autor de mais de cem artigos para publicações como *Harvard Business Review*, Sloan Management Review, Califórnia Management Review, Financial Times e entre muitas (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

Ainda para Borschiver & Lemos (2016), quando o processo sistemático de coleta, tratamento, análise e disseminação da informação sobre atividades dos concorrentes, tecnologias e tendências gerais dos negócios começou a ser adotado pelas empresas no início dos anos 80, elas criaram uma resposta às novas exigências do mercado e da concorrência.

A prática da Inteligência Competitiva permite às organizações o desenvolvimento de uma cultura de busca por informações, que efetivamente subsidiem as suas estratégias. A criação de um sistema de inteligência, envolvendo coleta, tratamento, análise e disseminação da informação sobre atividades dos concorrentes, fornecedores, clientes, tecnologias e tendências gerais dos negócios, vem ao encontro da necessidade de monitorar continuamente o ambiente externo (ROEDEL, 2002).

A Inteligência Competitiva aplicada nas empresas pressupõe o uso sistematizado de informações obtidas ética e legalmente, relativas ao ambiente competitivo geral para a que a organização possa estabelecer tendências e cenários e possam responder mais rapidamente as alterações de mercado do que seus concorrentes (PRESCOTT; MILLER, 2002).

No conceito original, que posteriormente evoluiu para incluir outras responsabilidades como a social e a ambiental, desenvolvido por Marshall[3], uma empresa é uma unidade econômica cujo objetivo principal é alocar racionalmente os fatores de produção de modo a maximizar os lucros, com foco no curto e no longo prazo. Para esta alocação racional, toda organização deve estabelecer seus objetivos gerais e específicos, de forma a nortear a condução de sua administração e suas ações para alcançar tais metas. Além disto, tal como na vida pessoal, não é suficiente identificar o que se deseja atingir, se não houver um plano estruturado para tornar esta meta tangível. Assim, em uma empresa, o planejamento é de suma importância, sendo uma ferramenta de competitividade, uma vez que ajuda a identificar onde, como e quando a empresa alcançará os resultados esperados (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

No planejamento estratégico das instituições, o foco deveria estar em fornecer aos gestores e suas equipes uma ferramenta que os municie de informações para a

[3] Alfred Marshall (1842 – 1924) foi um dos mais influentes economistas de seu tempo. Sua obra mais famosa é o livro Princípios de Economia (*Principles of Economics*) que reuniu as teorias da oferta e da demanda, utilidade marginal e custos de produção, tornando-se o manual de economia mais adotado na Inglaterra por um longo período (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

tomada de decisão, ajudando-os a atuar de forma proativa, antecipando-se às mudanças que ocorrem (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

Cenários Prospectivos

Para PIO *et al*. (2014), os cenários podem ser considerados como construções hipotéticas de eventos, que possibilitam criar imagens de futuros, os quais são determinados por meio de interpretações qualitativas dos pontos críticos dos fatores exógenos que influenciam as organizações. Um cenário não expressa a realidade futura, mas é uma das formas de representá-la com o objetivo de dar um sentido às ações no presente, visando um ambiente futuro possível e desejado. Ele não tem significado, caso não se consiga extrair resultados para possíveis ações estratégicas. A elaboração de cenários permite que, no processo de planejamento estratégico, as incertezas do futuro sejam prospectadas e compreendidas. Procura-se obter, com base na apreensão da realidade atual, uma percepção comum e compartilhada de futuros alternativos. Cenários são, então, definidos como a descrição de futuros possíveis, com explicitação de eventos que levariam à sua concretização.

Estes autores consideram também que o planejamento estratégico, por meio de cenários, se apresenta como um interessante método para diminuir o hiato entre o planejado e o realizado, pois considera, em sua base de análise, eventos não previstos nos quais a incerteza, oriunda de complexas inter-relações, é cada vez mais presente. Esta metodologia permite às empresas trabalharem por meio de eventos simulados como se os estivessem vivenciando. Desse modo, é possível identificar situações problemáticas e desafios e saber como agir, evitando surpresas desagradáveis. O estabelecimento e a análise de cenários são bases para o planejamento traçar estratégias e atingir objetivos de longo prazo. Com os cenários é possível responder a perguntas tais como: qual deve ser o posicionamento estratégico da empresa/instituição se um determinado futuro ocorrer? A ferramenta de cenários permite que as escolhas tenham uma base mais sólida de argumentação, além de possibilitar a construção de estratégias flexíveis, adaptativas e robustas, no âmbito das instituições (PIO *et al*. 2014).

Consideram ainda que em tempos de incertezas e mudanças sistemáticas, “agir primeiro” possibilita um melhor posicionamento estratégico e favorece um comportamento “pró-ativo”. Além disso, oferece, a quem constrói os cenários, a possibilidade de moldar os eventos futuros a seu favor, ou pelo menos de se preparar para enfrentá-los. O uso de cenários pode transformar uma organização, pois estabelece processos de aprendizagem e análise sistêmica em todo o âmbito organizacional, além de identificar e, em alguns casos, modificar os modelos mentais dos tomadores de decisão, contribuindo para a otimização do processo decisório (PIO *et al*. 2014).

Prospecção Tecnológica

A prospecção tecnológica abrange uma série de abordagens, metodologias e habilidades utilizadas para prover informações estratégicas para a tomada de decisões em diferentes níveis de abrangência: tecnologia isolada, complexo tecnológico, empresa, processo, sociedade ou nação (CASTRO, 1998).

O objetivo do estudo de prospecção tecnológica é inicialmente mapear, e posteriormente, monitorar sistematicamente mudanças e ações que buscam construir o futuro desejado de determinado setor. Os estudos prospectivos oferecem uma base que auxilia na construção do futuro, pois permitem reflexões para a identificação de ações de caráter estratégico, capazes de acompanhar o processo de mudança sócio-técnico. A importância da tecnologia reside na sua capacidade de influenciar a estrutura de setores e negócios, mudando o jogo concorrencial, apontando a dinâmica tecnológica e a inovação como forças capazes de provocar mudanças sensíveis no mercado (PORTER, 1991).

Para Bahruth (2004), a prospecção tecnológica trabalha a modelagem do futuro de um dado objeto de estudo, seja uma tecnologia, um setor industrial, serviços, aspectos sociais, etc., onde informações provenientes de conhecimentos tácitos e/ou explícitos são tratados por meio de técnicas qualitativas ou quantitativas. Esta autora coloca também que um estudo de prospecção tecnológica pode variar em complexidade, desde uma única tecnologia para uma empresa até um exercício prospectivo de escopo bem mais amplo, de um setor econômico ou de questões que envolvam toda uma sociedade. Observa também que os objetos de um exercício

prospectivo podem ser bem abrangentes, onde uma grande quantidade de atores está envolvida e existem inúmeros fatores e variáveis a serem analisados, como no caso de estudos prospectivos de nações. Em outros casos o universo é mais limitado, nos quais empresas ou organizações buscam analisar fatores exógenos ao seu universo, para verificar o grau de influência desses fatores sobre seus produtos ou mercado. Tais estudos podem servir tanto como subsídio para apoiar os processos de planejamento estratégicos das organizações e empresas como para apoiar as políticas públicas e setoriais (BAHRUTH, 2004).

Para Porter (1995), uma das fontes de dados mais ricas e que, consequentemente, melhor podem mostrar o direcionamento tecnológico de um dado setor, os documentos de patentes servem, como instrumento de avaliação de mercados potenciais, de tendências tecnológicas e de concorrência, configurando-se como um eficiente modo de apropriação dos esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D). O monitoramento por meio de patentes tem se mostrado uma potente ferramenta e um instrumento bastante eficaz no apoio à tomada de decisão, tendo em vista seu conteúdo informacional, que permite identificar tecnologias relevantes, parceiros, nichos de mercados para atuação, inovações incrementais e de ruptura e movimentos da concorrência, tais como, gestão de processos, gestão de produtos, novas linhas de P&D, fusões, aquisições, dentre outras. Um outro fator a ser ressaltado é o uso das patentes como fonte de informação para a geração de mapas de conhecimento uma vez que as bases de dados são padronizadas e a qualidade da informação é indiscutível, o que permite tratar estatisticamente uma massa de dados com baixo risco de desvios constituindo-se em indicadores do desenvolvimento industrial, sendo representativos da capacidade inovadora e elementos para o monitoramento da competição tanto no plano doméstico quanto internacional (PORTER, 1995).

Para Rodrigues (2015), uma das formas de monitorar as tendências tecnológicas do setor e obter informações úteis para o desenvolvimento de novos processos, produtos e equipamentos, entre outros, vem a ser a análise da informação contida em documentos de patente disponíveis em bases de patentes. Essas informações podem ser usadas para subsidiar as pesquisas que estão em desenvolvimento, servir como alerta a tendências tecnológicas, estratégias de proteção de mercados, lideranças setoriais e distribuição mundial de tecnologia.

Roadmapping Tecnológico

O desenvolvimento de um *RoadMap* tecnológico visa um processo de planejamento tecnológico que auxilia a identificar, selecionar e desenvolver alternativas tecnológicas para satisfazer uma série de necessidades de determinado produto. Ele é um meio de organizar e apresentar as informações críticas para o planejamento tecnológico para se tomar decisões de investimentos de forma apropriada, trazendo indicativos de como e quando seria o momento mais oportuno de realizar tais investimentos. É uma maneira de desenvolver, organizar e apresentar informações acerca de necessidades críticas do sistema e metas de performance produtivos que precisam ser atendidos em determinados espaços de tempo. Também identifica tecnologias que precisam ser desenvolvidas para chegar a tais metas. Finalmente, provê informações necessárias para fazer escolhas entre diferentes alternativas tecnológicas (GARCIA & BRAY, 1998).

Os *RoadMaps* tecnológicos podem ser de um produto existente ou de um produto em fase de desenvolvimento tecnológico e de mercado (GARCIA & BRAY, 1998). Para PHAAL *et al*. (2000) a característica chave da tecnologia que a distingue de outros tipos de conhecimento é que ela é aplicada com foco no *know-how* da organização. Os processos que possibilitam a aplicação efetiva da tecnologia também são importantes como, por exemplo, processos de desenvolvimento de produto e de inovação, combinado com as estruturas organizacionais e suportando redes de conhecimento.

A gestão tecnológica é encarregada da efetiva identificação, seleção, aquisição, desenvolvimento, exploração e proteção de tecnologias (produto, processos e infraestrutura) necessárias para manter (e crescer) a posição de mercado e a performance de negócios de acordo com os objetivos da companhia/organização (PHAAL *et al*. 2000).

A gestão tecnológica requer que se estabeleçam fluxos de conhecimento apropriados entre as perspectivas comerciais e tecnológicas. O objetivo é atingir o equilíbrio entre "*pull*" do mercado e o "*push*" da tecnologia, conforme ilustrado na Figura 36 (PHAAL *et al*. 2000).

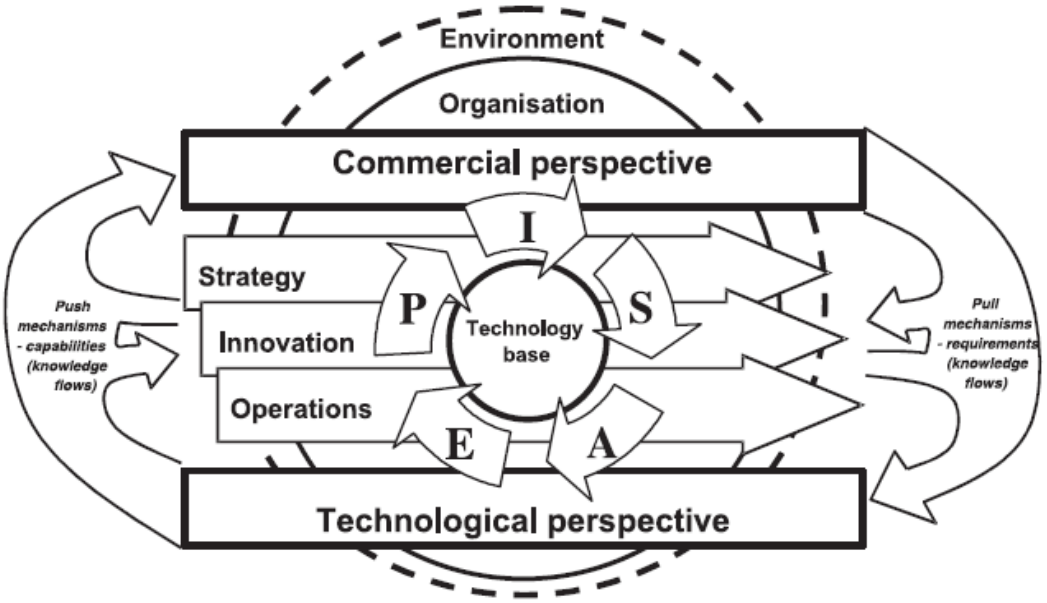


Figura 36. *Framework* de gestão tecnológica

Fonte: PHAAL *et al*. (2000).

A metodologia de *Technology RoadMapping* (TRM), dentro do conceito de prospecção tecnológica, consiste em uma ferramenta de planejamento estratégico utilizado pelos diversos atores na cadeia produtiva de modo a auxiliar na tomada de decisão apresentando os resultados em uma análise temporal de curto, médio e longo prazo, relacionando-os com fatores críticos referentes a mercado, produto e tecnologia. O produto final é o *RoadMap* Tecnológico (BORSCHIVER *et al*. 2014). O *RoadMap* tecnológico é uma técnica que suporta a gestão tecnológica e o planejamento conectando recursos tecnológicos, objetivos organizacionais e o ambiente de rápidas transições tecnológicas. A abordagem mais comum foi proposta pelo *European Industrial Research Management Association* (EIRMA, 1997) de forma simplificada está ilustrado na Figura 37.

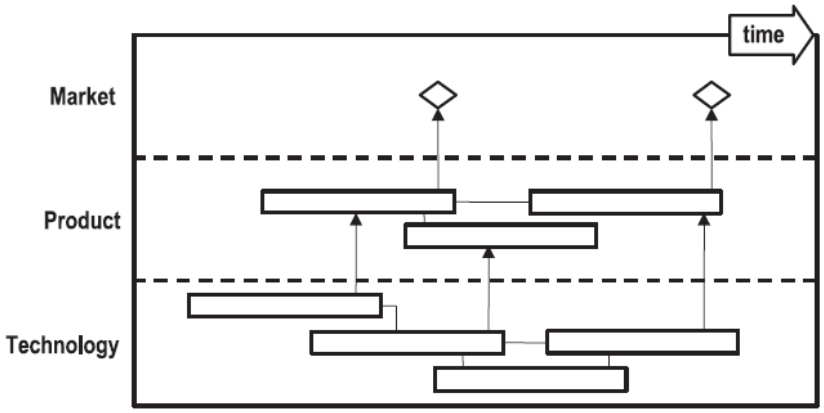


Figura 37. Esquema de um *RoadMap* tecnológico genérico
Fonte: EIRMA (1997).

O esquemático é uma linha do tempo e em suas camadas incluem-se perspectivas comerciais e tecnológicas. Outras abordagens estão diretamente relacionadas aos *RoadMap*s como *forecast*, *foresight*, cenários futuros e de planejamento, *Delphi*, *backcasting* e outros métodos para o desenvolvimento de estratégias tecnológicas.

Tipos de *RoadMap*s tecnológicos por formatos e motivação

De acordo com PHAAL (2004), um dos autores mais importantes que pesquisam sobre a metodologia de RoadMapping tecnológico, os RoadMaps tecnológicos podem ter diversos formatos. A Figura 38 de a) a f) apresenta 6 tipos de RoadMaps tecnológicos separados por formato (PHAAL, 2004) que podem ser: a) Múltiplas camadas; (b) Barras; (c) Tabelas; (d) Gráficos; (e) Representação de elementos gráficos; (f) Fluxogramas; única camada que é uma variação do *RoadMap* de múltiplas camadas e texto.

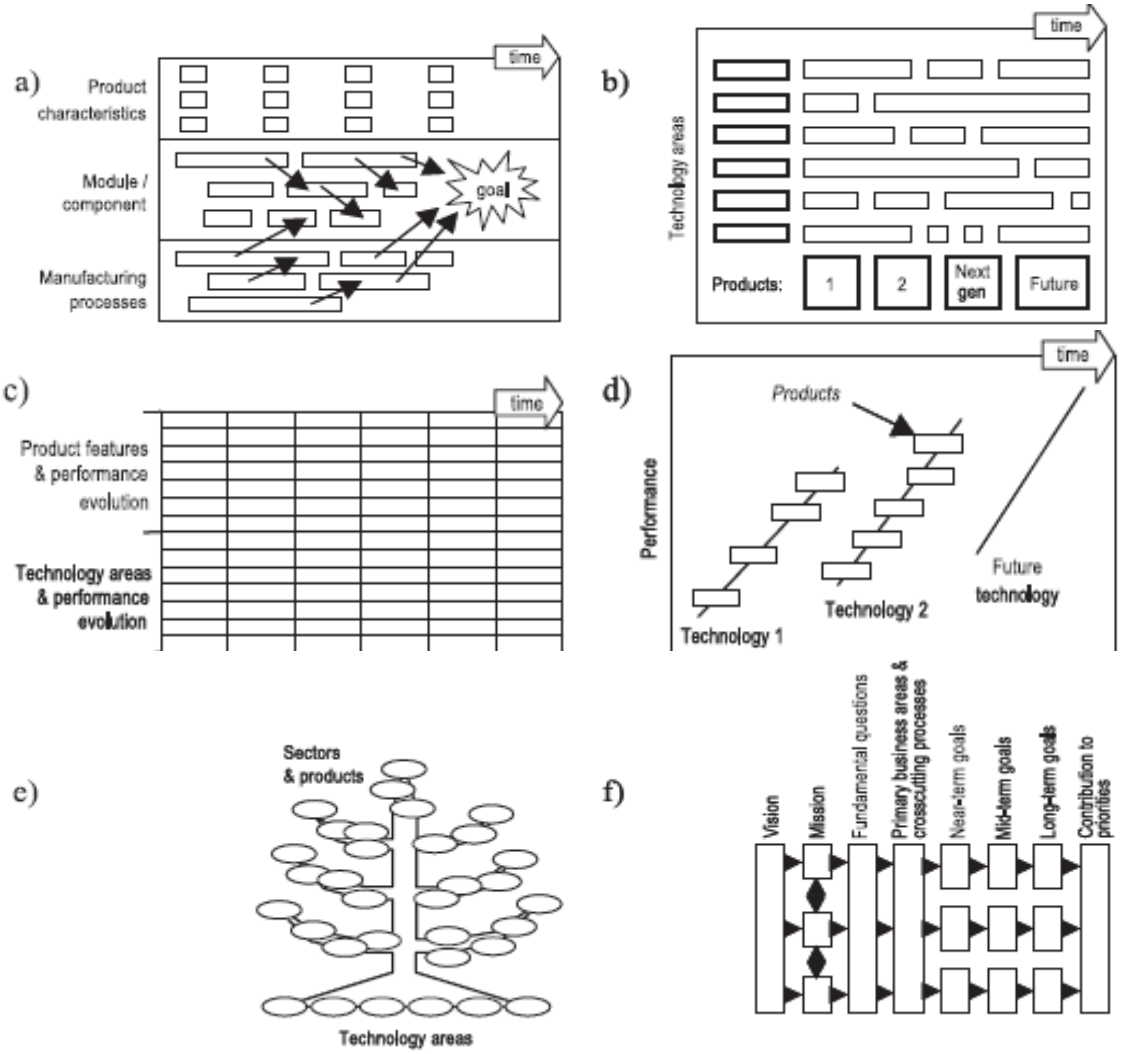


Figura 38. Exemplos de *RoadMaps* tecnológicos. Diferentes formatos

Fonte: PHAAL (2004).

A Figura 39 de a) a h) apresenta 8 tipos de *RoadMap*s Tecnológicos separados por motivação (PHAAL, 2004):

(a) Planejamento de Produto: o mais utilizado. Inserção de tecnologia no mercado de produtos manufaturados.

(b) Planejamento de Serviço/capacidades: voltado a empresas de serviços com foco em como a tecnologia suporta capacidades organizacionais.

(c) Planejamento Estratégico: geral, avaliação de oportunidades e ameaças.

(d) Planejamento de Longo Prazo: para estender os horizontes do planejamento.

(e) Planejamento de Ativos de Conhecimento: visualizar ativos de conhecimento e conectá-los com as competências para atender às demandas futuras do mercado.

(f) Planejamento de Programas: implantação da estratégia planejada e garantia da realização dos objetivos de determinado programa (ex.:P&D).

(g) Planejamento de Processos: suporta a gestão do conhecimento. Foco em áreas em particular (ex.: desenvolvimento de novos produtos).

(h) Planejamento de Integração: evolução e/ou integração da tecnologia. Como diferentes tecnologias se combinam com produtos e sistemas ou para formar novas tecnologias.

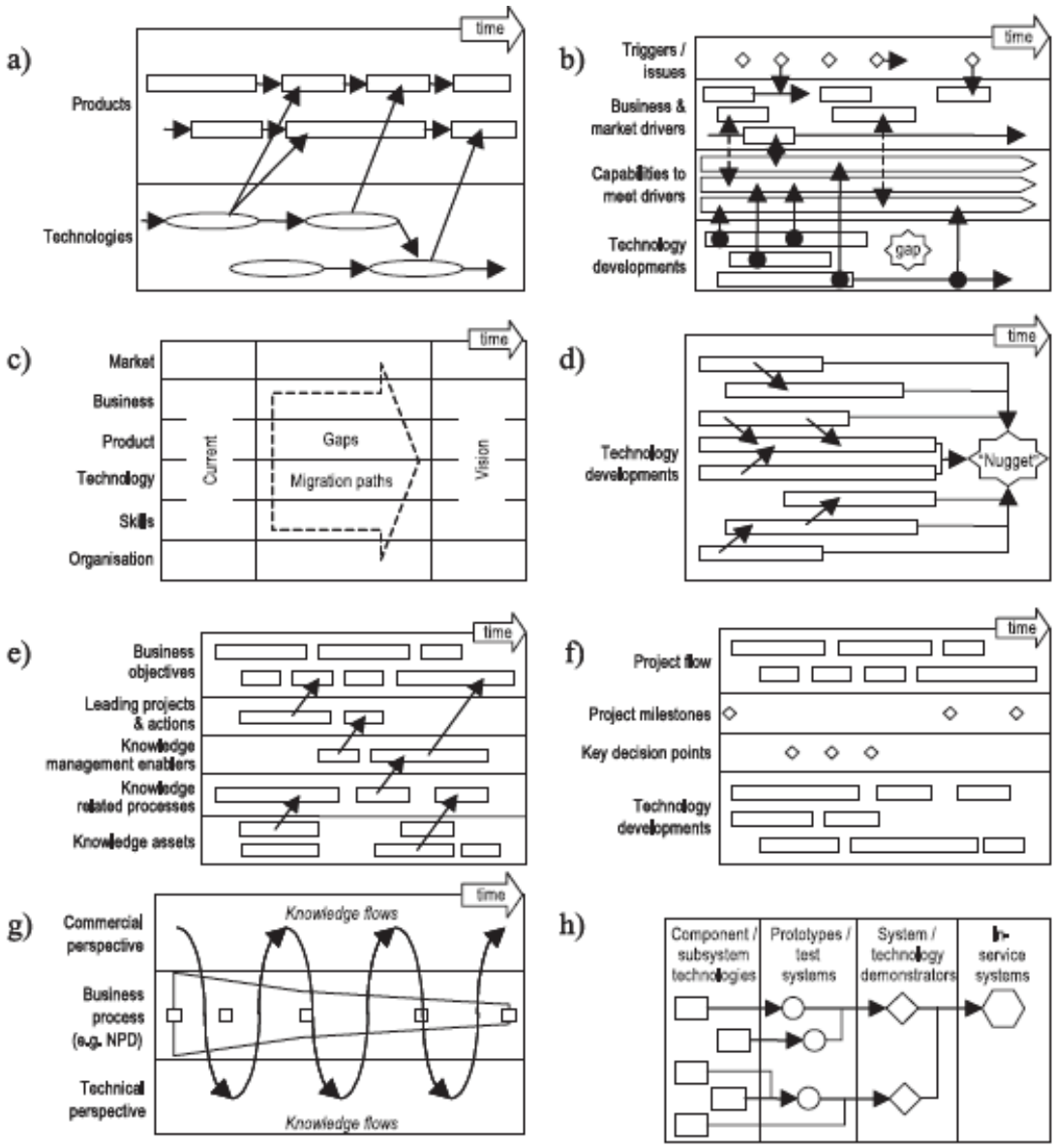


Figura 39. Exemplos de *RoadMaps* tecnológicos. Diferentes motivações

Fonte: PHAAL (2004).

O *RoadMap* tecnológico de múltiplas camadas é o tipo de mapa do conhecimento mais comum por ser mais flexível em termos de aplicação em situações específicas de cada organização (PHAAL, 2004). Na Figura 40 é apresentada a arquitetura típica e geral desse tipo de *RoadMap* tecnológico (PHAAL, 2004). Na sequência são explicados os fatores relacionados à construção de um *RoadMap*.

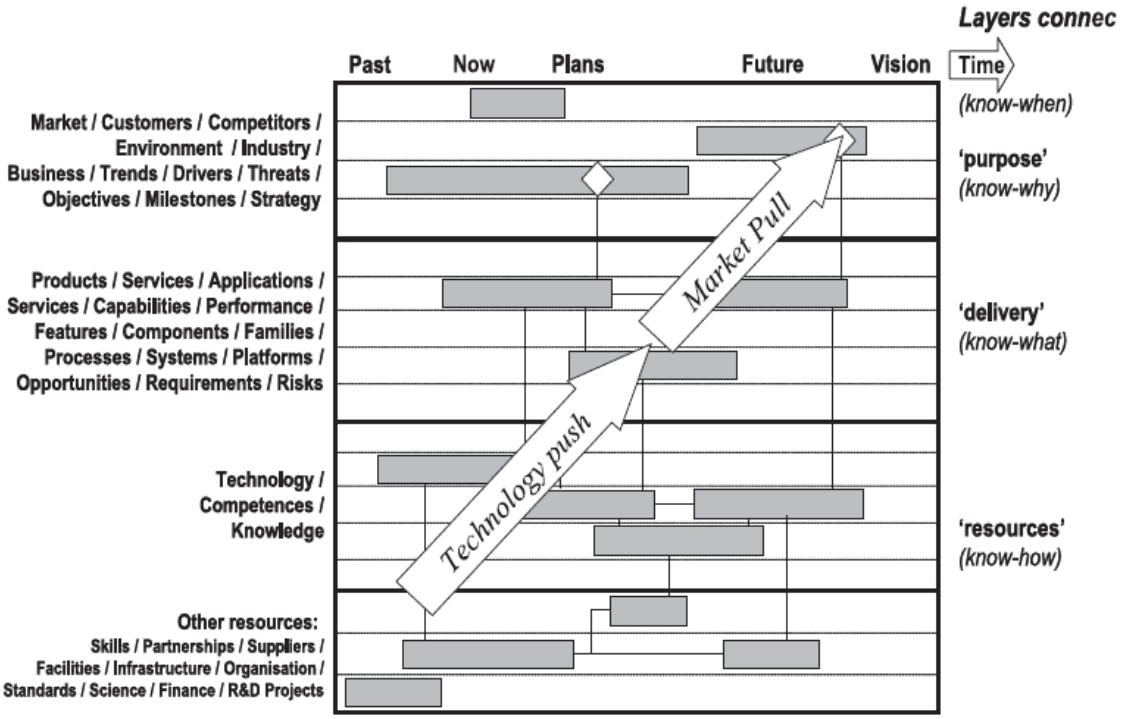


Figura 40. Arquitetura típica de um mapa do conhecimento de múltiplas camadas
Fonte: PHAAL (2004).

a) Tempo: o tempo normalmente é a dimensão no eixo horizontal que pode ser adaptada para cada situação. Pode-se posicionar desde a situação atual (ou histórica) e a visão futura de curto, médio ou longo prazo.
b) Camadas: o eixo vertical de um mapa do conhecimento é crítico, precisa ser pensado para refletir a realidade de determinada organização ou problema que se quer estudar. As camadas superiores normalmente estão relacionadas com o propósito que motiva a realização do estudo (*Know-why*). As camadas inferiores têm relação com os recursos que serão necessários para atender à demanda das camadas superiores (*Know-how*). As camadas localizadas entre as superiores e inferiores são cruciais porque conectam os propósitos e recursos (*Know-what*).

c) Processo: o processo mais adequado depende de fatores como os recursos que estão disponíveis, (tempo, orçamento e pessoal) natureza da aplicação (propósito e escopo), informações disponíveis (mercado e tecnologia). Outros processos e métodos importantes são: a estratégia, a forma de orçar, o desenvolvimento de novos produtos, gerenciamento de projetos e pesquisa de mercado. Uma visão externa (ambiente de mercado e de negócios) e outra interna (recursos tangíveis e intangíveis) e uma combinação de ambas para identificar oportunidades, ameaças, forças e fraquezas ou seja, aspectos do "*push*" tecnológico e do "*pull*" do mercado (PHAAL, 2004). As características que foram descritas detalhadamente nos itens a) a d) anteriores são representadas na Figura 41 (PHAAL, 2004).

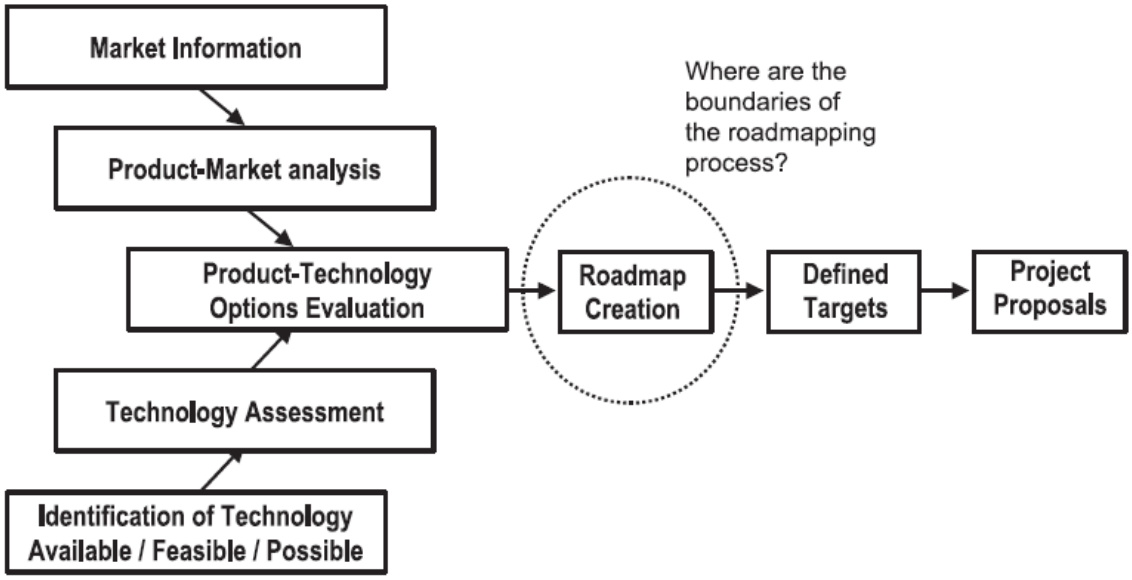


Figura 41. Conhecimento comercial e tecnológico para a criação do *RoadMap*
Fonte: PHAAL (2004).

Outros tipos de *RoadMap* foram classificados por Borschiver & Lemos (2016) em 8 categorias e apresentados a seguir, sendo eles:

i) Planejamento de produtos: É o tipo mais comum de *RoadMap* Tecnológico. Neste caso, um conjunto de diferentes produtos são relacionados às tecnologias necessárias ao seu desenvolvimento. O modelo apresentado na Figura 42 é o modelo *Philips*, amplamente utilizado pela indústria.

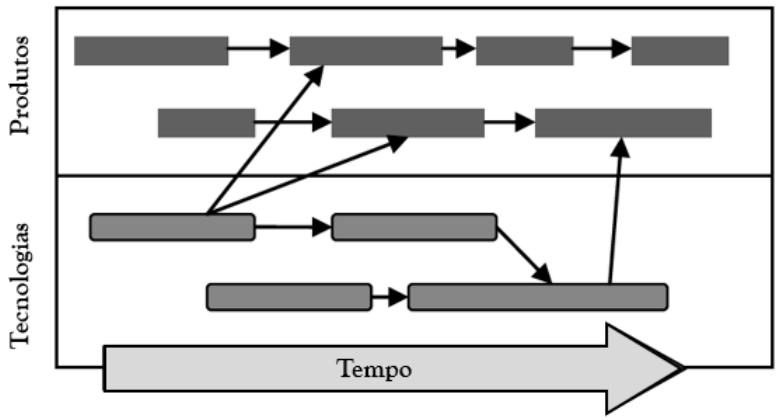


Figura 42. *RoadMap* – Planejamento de produtos

Fonte: Adaptado de BERNAL *et al*. (2009).

ii) Planejamento de serviços e capacitações: Este tipo é mais adequado a empresas de fornecimento de serviços. O foco é como as tecnologias podem ajudar no desenvolvimento dos recursos da empresa para a prestação de determinado serviço como mostra a Figura 43.

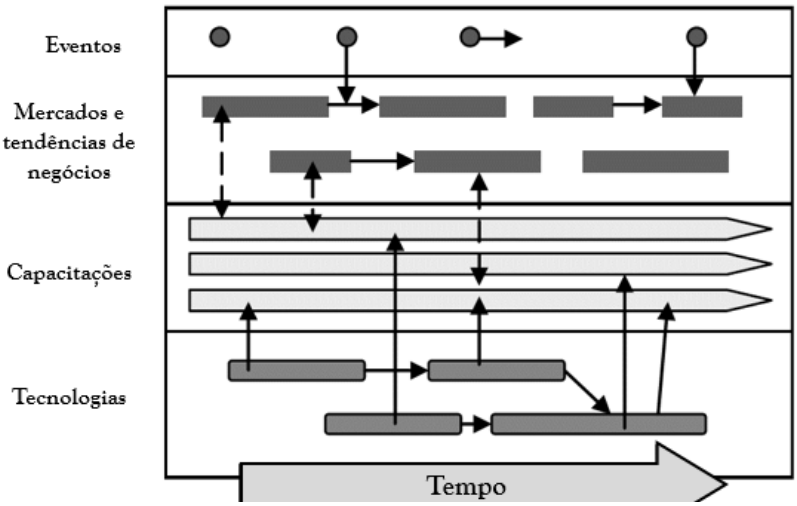


Figura 43. *RoadMap* – Planejamento de serviços e capacitações

Fonte: Adaptado de BERNAL *et al*. (2009).

iii) Planejamento estratégico: Este tipo de *RoadMap* apresenta diferentes oportunidades ou ameaças de mercado e tendências do negócio em um nível estratégico. O foco é o desenvolvimento de uma visão de futuro do negócio, em termos de mercado, negócio, produto, tecnologias, habilidades requeridas, cultura, etc. As lacunas podem ser identificadas comparando com a visão atual e opções estratégicas podem ser exploradas de forma a transpor as lacunas. A Figura 44 mostra uma representação no formato *T-plan*, que serão detalhados adiante.

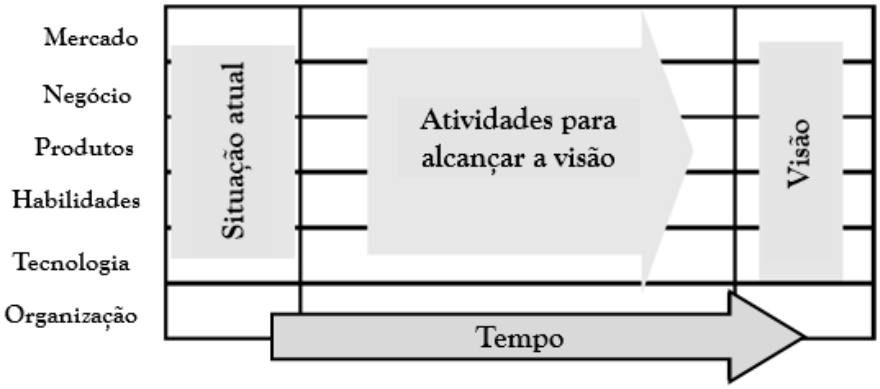


Figura 44. *RoadMap* – Planejamento estratégico

Fonte: Adaptado de BERNAL *et al*. (2009).

iv) Planejamento de longo prazo: Este tipo de *RoadMap* é utilizado para suportar atividades que requerem um planejamento de longo prazo. Geralmente, este tipo é aplicado para estudos em nível setorial ou nacional (*foresight*) servindo como radar para identificação de potenciais tecnologias e mercados disruptivos. Um exemplo é mostrado na Figura 45.

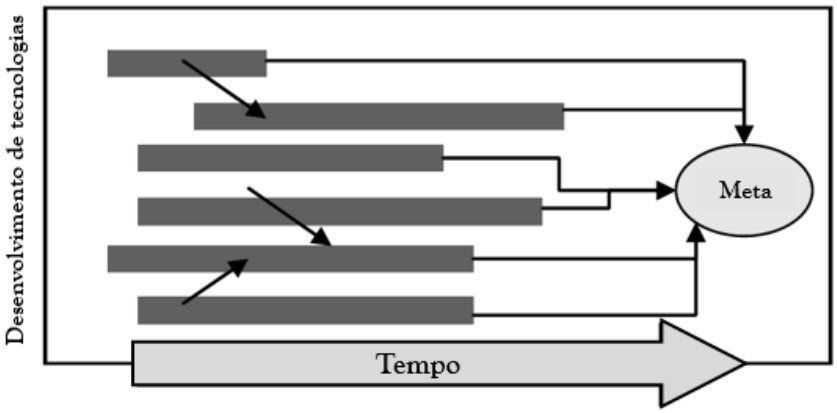


Figura 45. *RoadMap* – Planejamento de longo prazo

Fonte: Adaptado de BERNAL *et al*. (2009).

v) Capacitações e planejamento de conhecimento: Neste caso, o *RoadMap* permite alinhar o capital intelectual da empresa aos objetivos do negócio. A Figura 46 representa um exemplo desenvolvido pelo *Artifiial Intelligence Applications Unit* da *University of Edinburgh*, permitindo à organização identificar suas questões críticas em relação ao conhecimento e a inter-relação com suas habilidades internas, tecnologias e competências requeridas para entender as demandas futuras de mercado.

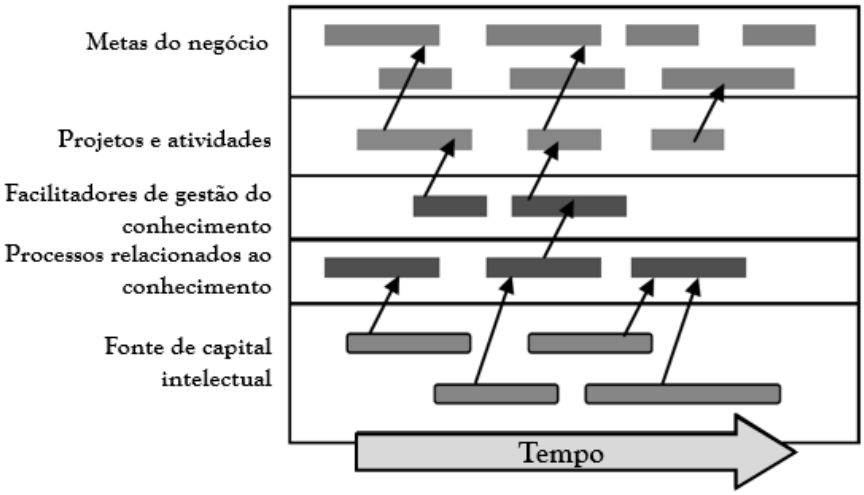


Figura 46. *RoadMap* – Capacitação e planejamento do conhecimento
Fonte: Adaptado de BERNAL *et al*. (2009).

vi) Planejamento de projeto: O *RoadMap* pode também alinhar diferentes atividades de um projeto, como por exemplo, um projeto para o desenvolvimento de tecnologias. Um exemplo é mostrado na Figura 47.

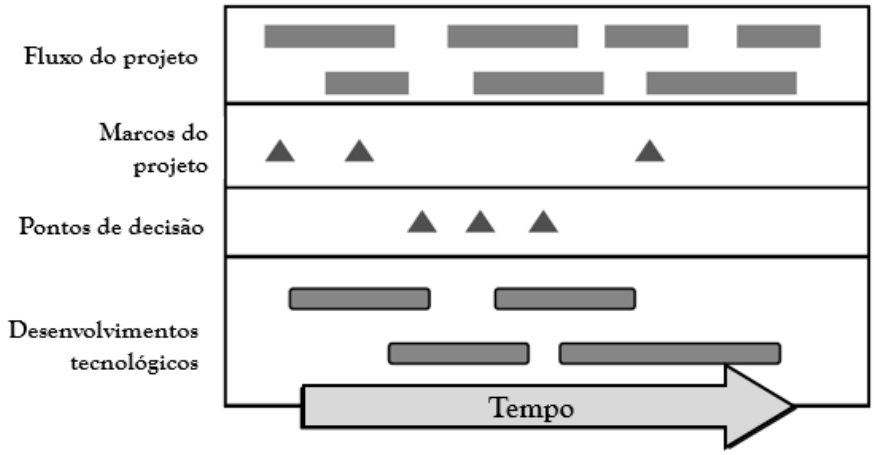


Figura 47. *RoadMap* – Planejamento de projetos
Fonte: Adaptado de BERNAL *et al*. (2009).

vii) Planejamento de Processos: O *RoadMap* permite gerenciar conhecimento, com foco em um processo de uma área particular da empresa. Um exemplo é apresentado na Figura 48.

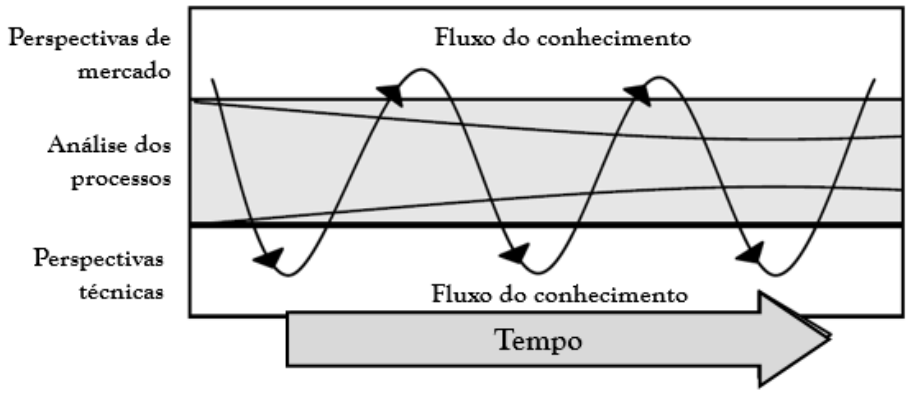


Figura 48. *RoadMap* – Planejamento de processos

Fonte: Adaptado de BERNAL *et al*. (2009).

vii) Planejamento integrado: Através deste *RoadMap* é possível ter uma visão a respeito da integração e evolução das tecnologias e como elas integram produtos e sistemas para criar novas tecnologias conforme mostra a Figura 49.

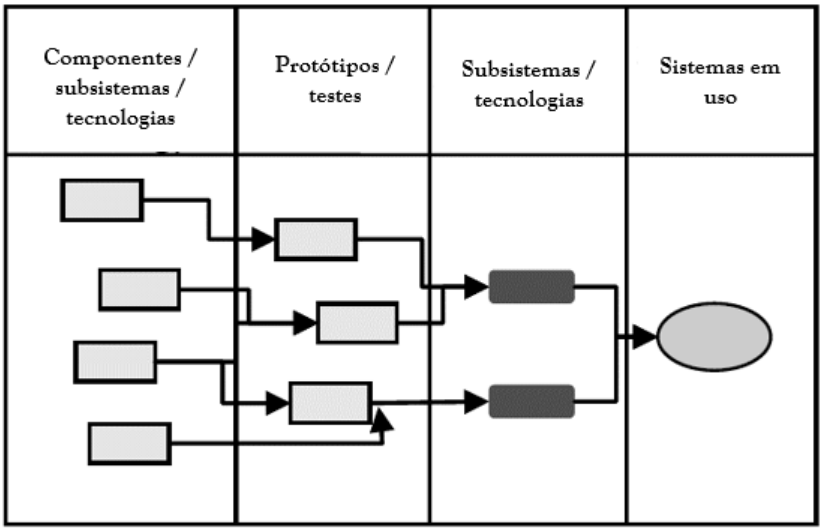


Figura 49. *RoadMap* – Planejamento integrado

Fonte: Adaptado de BERNAL *et al*. (2009).

Com relação à construção do *RoadMap*, Borschiver & Lemos (2016), consideram fatores essenciais os descritos na Figura 50 e seguem indicando as partes a serem cobertas no processo de *RoadMapping* para a construção de um *RoadMap* tecnológico.

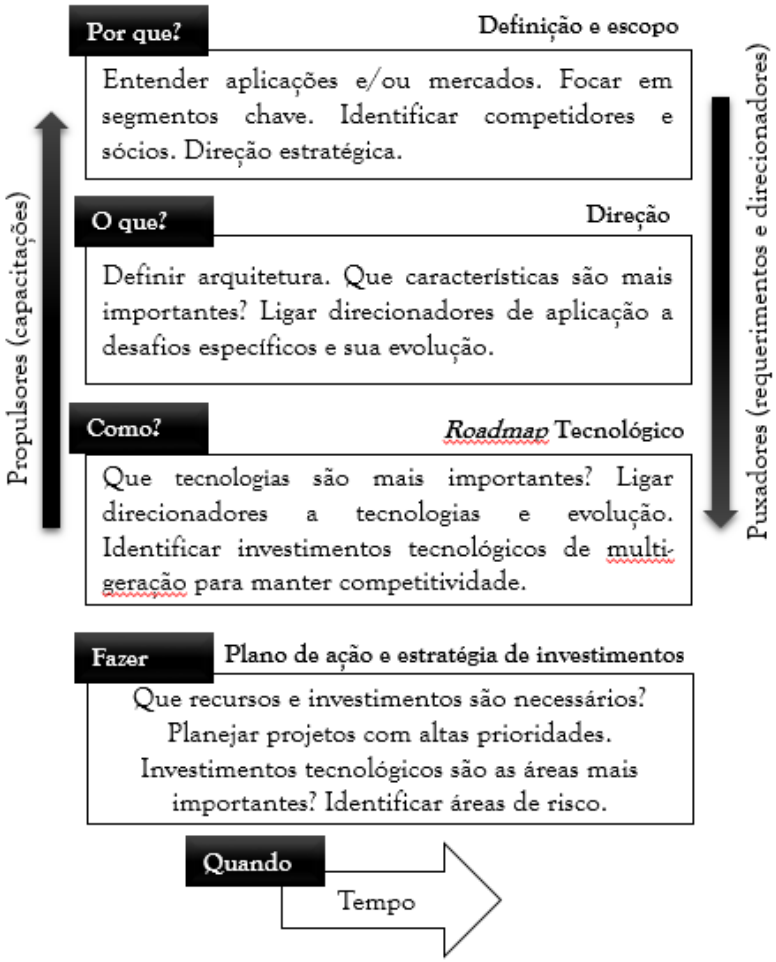


Figura 50. Estrutura de *RoadMap* unificando suas quatro partes

Fonte: Adaptado de ALBRIGHT (2016).

- A primeira parte define o domínio do *RoadMap*, o escopo, os objetivos, a estratégia para alcançar os objetivos – este é o "porquê" (*why*) do *RoadMap*;
- A segunda parte define o direcionamento, ou seja, este é "o quê" (*what*) do *RoadMap*. O direcionamento inclui desafios, a arquitetura do processo e sua evolução e medidas de *performance* (alvos) a serem alcançadas;
- A terceira parte descreve a evolução das tecnologias que serão usadas para alcançar os objetivos. Este é o "como" (*how*) do *RoadMap*.
- A quarta parte define o plano de ação e os riscos – lista de ações (*to do*) do *RoadMap*. O plano de ação identifica os desenvolvimentos-chave, os recursos necessários e os riscos.

As autoras complementam ainda que o *RoadMapping* se refere ao procedimento ou processo de aplicação do método escolhido. Aborda o modo como

as atividades são organizadas, o envolvimento dos participantes, o fluxo de informações, as ferramentas usadas e o ambiente organizacional envolvido. O *RoadMap* corresponde ao resultado na forma de mapa que é gerado ao final do processo de aplicação do método.

O *RoadMap* tecnológico é parte de uma metodologia que garante o alinhamento entre os investimentos em tecnologias e o desenvolvimento de novas capacidades, de forma que o capital seja empregado de acordo com as demandas futuras do mercado. Esta é uma ferramenta que traz um suporte importante ao gestor da área de inovação, permitindo definir a evolução tecnológica da empresa com antecedência. A ferramenta estabelece a relação entre tecnologias, seus produtos e serviços, assim como a relação com os objetivos de mercado. Como resultado, o posicionamento da empresa em termos tecnológicos pode ser mantido ou aprimorado. O *RoadMap* tecnológico auxilia aos agentes, seja uma indústria ou uma organização, a descrever o ambiente futuro em termos dos objetivos e planos internos da companhia e como esses objetivos podem ser alcançados após um período de tempo (BORSCHIVER & LEMOS, 2016).

A fase de planejamento é uma das mais importantes no processo de construção de um mapa do conhecimento. É quando se pensa se a metodologia geral atende aos requisitos específicos da organização (PHAAL, 2004).

Há dois desafios a serem superados se o *RoadMapping* for utilizado amplamente pela organização ou por múltiplas organizações:

(i) Manter o *RoadMap* vivo: manter as informações que o mapa do conhecimento contém, constantemente atualizadas. Pode-se estabelecer uma revisão anual ou conectar a atividade aos ciclos de revisão/planejamento de orçamento/estratégia.

(ii) *Roll-out*: depois de desenvolvido o primeiro *RoadMap* ele pode ser desdobrado a outros setores da organização. E pode ser *Top-down* quando é requerido pelos gestores ou *Bottom-up* quando a organização de maneira orgânica se ajuste ao método após a solução de problemas ou adequação do negócio (PHAAL, 2004).

O autor Robert Phaal (2008) elaborou uma pesquisa na qual identificou aproximadamente 1.300 *RoadMap*s elaborados até o ano de 2008 que eram de

domínio público na *internet* cobrindo diversas áreas das ciências, tecnologia e indústria, os quais foram agrupados e separados por área como mostra a Tabela 3:

Tabela 3. Panorama dos *RoadMap*s encontrados na literatura, destacando os relacionados à área de química

Área	Número de *RoadMaps*	%
Tecnologia da Informação e Telecomunicações	293	23,4
Indústria - Em geral	160	12,8
Política/Governo/Comunidade	142	11,4
Indústria - Energia	140	11,2
Materiais	67	5,4
Cuidados com a Saúde	64	5,1
Ciências da Vida	59	4,7
Indústria - Eletrônica	58	4,6
Indústria - Defesa	44	3,5
Ciências da Terra	43	3,4
Indústria - Automotiva/Transporte	42	3,4
Aeroespacial	39	3,1
Física	23	1,8
Indústria - Construção	22	1,8
Química (e processos da indústria química)	**19**	**1,5**
Astronomia	16	1,3
Indústria - Manufatura/Operações	12	1,0
Ciências Gerais	7	0,6
Total	**1250**	**100**

Fonte: Adaptado de PHAAL por LOUREIRO *et al*. (2008).

Cabe destacar que o maior número de *RoadMap*s se concentra na área de "Tecnologia da Informação e Telecomunicações" com aproximadamente 23%, em segundo lugar vem a "Indústria - Em geral" com aproximadamente 13% e em terceiro lugar quase empatados "Política/Governo/Comunidade" e "Indústria - Energia" com aproximadamente 11%. A área de "Química" representa somente 1,5% dos *RoadMaps* listados. Com base no estudo realizado por PHAAL (2008), LOUREIRO, BORSCHIVER e COUTINHO (2010) acessaram os 19 documentos mencionados na área de química e fizeram as seguintes considerações relacionadas à aplicação do método de *RoadMapping* tecnológico na área de "Química":

- A grande maioria desses *RoadMap*s adotaram o formato de texto. Alguns documentos somente têm a representação de textos enquanto outros,

possuem representações gráficas como barras, múltiplas camadas, tabelas, fluxogramas e/ou gráficos. Por exemplo, o *RoadMap* sobre o *forecast* tecnológico da indústria química norte americana no ano de 2020, somente utiliza recursos de texto, enquanto o *RoadMap* direcionado a catalisadores e suas tecnologias utiliza textos e o recurso de barras para cada grupo (óleo / energia, produtos químicos / polímeros / detergentes, química fina / farmacêuticos / alimentos) até o ano de 2010;

- Muitos autores equivocadamente nomeiam seus estudos como prospecção tecnológica. Entretanto, não contém *forecasts* estruturados para metas desejadas a partir de um "*RoadMap* tecnológico", não levando em consideração a variável tempo, contradizendo KAPPEL (2001), pesquisador que enfatizou que um *RoadMap* deve revelar explicitamente cada elemento ao longo do tempo;
- É observado que a área da Química e outras relacionadas a essa área, utilizam *RoadMaps* tecnológicos como ferramentas para o planejamento tecnológico. Podem ser encontrados *RoadMap*s para, por exemplo, biocatalisadores, materiais, química computacional, processos químicos e meio ambiente, com destaque para a área de tecnologias de separação;
- Muitos tipos de organização realizam ou contratam estudos de *RoadMap* para suas áreas de interesse. Entre esses tipos de organização estão empresas, universidades, centros de pesquisa, institutos, fundações, associações de indústrias e departamentos governamentais;
- A maior parte dos *RoadMap*s analisados foram realizados por uma ou mais organizações norte americanas, fazendo com que os Estados Unidos sejam o país que mais aplica essa ferramenta em estudos de *forecast* tecnológico em Química, em segundo lugar está a Holanda e em terceiro a Inglaterra;
- Praticamente todos os *RoadMap*s relacionados à área de Química são previsões para o ano 2020 (recorda-se que as informações foram obtidas em 2008) considerando um intervalo de 15 a 20 anos como período final da avaliação de longo prazo;
- É observado que mesmo havendo *RoadMap*s tecnológicos desde a década de 70, os documentos selecionados foram publicados a partir de 1998, sendo

possível considerar adicionalmente que o *RoadMapping* tecnológico é uma ferramenta de utilização recente.

Levando em consideração os aspectos apresentados neste capítulo, a perspectiva dos principais autores da área, as referências em relação aos *RoadMap*s já elaborados no setor de química e a metodologia desenvolvida e amplamente aplicada pelo NEITEC - UFRJ será apresentada nos capítulos 4, 5 e 6 desta dissertação, a metodologia aplicada ao trabalho realizado, juntamente com os resultados do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia.

No próximo capítulo, os conceitos descritos neste capítulo serão colocados em prática. Será descrita a metodologia do NEITEC empregada nesta dissertação, bem como detalhados os critérios de busca e demais detalhes da aplicação da metodologia para a construção do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia.

4 METODOLOGIA

Sob uma perspectiva mais ampla relacionada às distintas variáveis de um estudo de prospecção tecnológica, a metodologia de desenvolvimento de um *RoadMap* tecnológico, a qual foi adotada nesta dissertação, pode ser organizada em três fases específicas, como mostra a Figura 51 (BORSCHIVER *et al*. 2014).

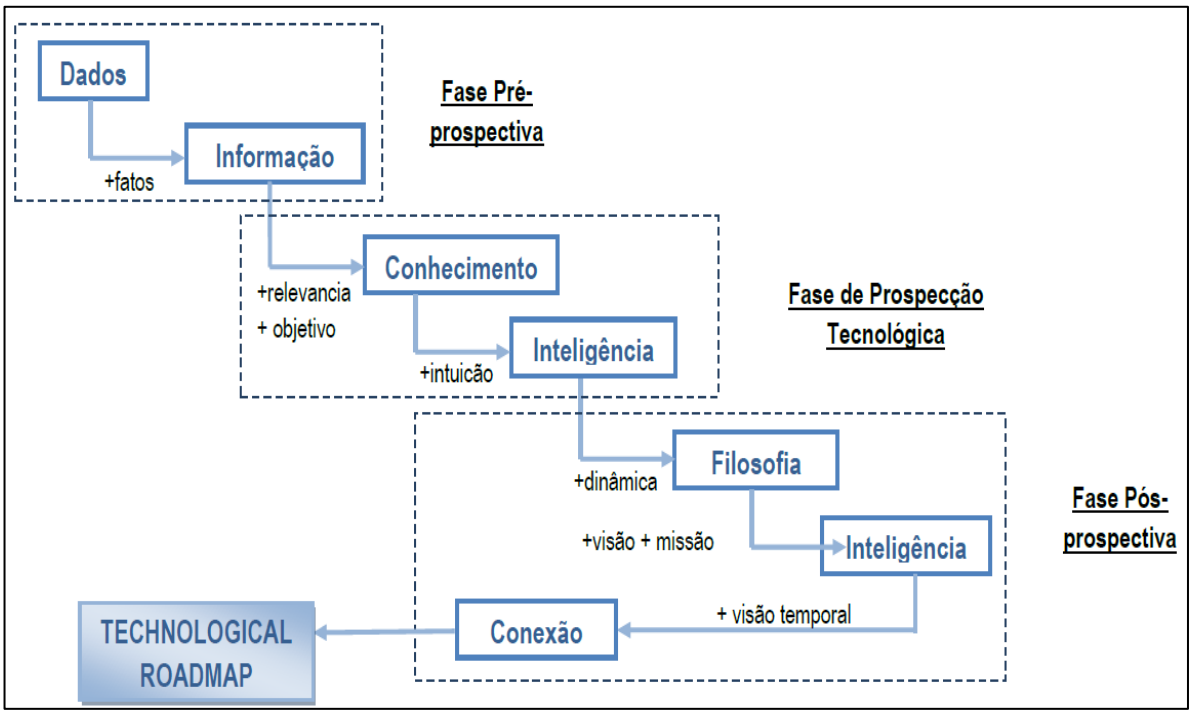


Figura 51. Metodologia - *RoadMap* tecnológico

Fonte: BORSCHIVER *et al*. (2014).

A "Fase Pré-prospectiva" é de pesquisa preliminar. Caracteriza-se por uma busca menos direcionada, procurando informações acerca do objeto de estudo e que vislumbra a constituição de uma base de informações que suportará a próxima fase, como foi possível observar nos Capítulos 1 e 2 desta dissertação. A segunda etapa, "Fase de Prospecção Tecnológica", é baseada em uma metodologia definida com palavras-chave específicas (busca mais direcionada), buscas em documentos técnicos (artigos científicos e patentes) e acompanhada por uma análise mais detalhada, na qual os documentos encontrados são analisados por meio de vários critérios, como o ano de publicação, país de origem, tipo de autor e foco em relação ao objeto de estudo. E finalmente, a última etapa é a "Fase Pós-prospectiva", na qual todas as análises originadas nas etapas anteriores são classificadas de acordo

com uma evolução temporal das tendências observadas, permitindo a elaboração do *RoadMap*.

Visando identificar, na área de produção de amônia, as novas tendências tecnológicas (em termos de matérias-primas, insumos do processo, tecnologias de produção, áreas de aplicação do produto), e mercadológicas (novos processos, inovações incrementais e disruptivas) para os próximos anos, de modo a suportar a tomada de decisão em relação a investimentos feitos nessa área, o produto final, o *RoadMap* tecnológico sobre a produção de amônia, apresenta os resultados em uma análise temporal que relaciona os fatores críticos referentes ao mercado, ao produto e à tecnologia. Para alcançar tal objetivo, são analisados diversos documentos técnicos em um horizonte de tempo definido. Esta dissertação explora artigos científicos, assim como, publicações em mídia especializada, além de patentes depositadas (solicitadas) e concedidas. A metodologia para avaliar os períodos a partir do tempo zero ou estágio atual, será realizada conforme mostram as Figuras 52 e 53. No tempo zero foram feitas buscas em sites especializados, particularmente: *Chemicals Technology* e *Ammonia Industry*, bem como nos *websites* das tradicionais detentoras de tecnologia, conjuntamente com as informações encontradas em artigos científicos que levavam à aplicação imediata, muitas vezes em plantas existentes. Já para o período considerado de curto prazo foram avaliadas as patentes concedidas por estarem essas em um horizonte temporal mais próximo de se tornar realidade para a indústria. Para o período de médio prazo foram avaliadas as patentes solicitadas que levariam um tempo maior para se tornarem realidade e serem aplicadas na indústria, já que até que ela seja concedida é necessário um tempo de avaliação que na análise do tempo de *backlog* - tempo médio entre a patente ser submetida até ser concedida - para o caso das patentes concedidas que fizeram parte dessa dissertação, foi de 3 anos e 4 meses. Ambas as informações serão obtidas por meio de busca na base de patentes norte americana USPTO que é uma base que reúne o conjunto de patentes de vários países e empresas que vêm publicando patentes nessa base desde a invenção da síntese de *Haber-Bosch,* sendo adotados os critérios de busca pelas palavras-chave "*Ammonia Production*" e utilizadas patentes classificadas dentro do conjunto da *International Patent Classification* (IPC) - C01C 1/00 - *Ammonia; Compounds thereof,* especificamente o C01C1/04 - *Preparation of ammonia by synthesis* que

trata especificamente da síntese de amônia e não outras seções como a B do IPC que é voltada às operações unitárias envolvidas em um processo produtivo.

Outras bases de patentes poderiam ter sido utilizadas como o Espacenet e o DPMA (*Deutsches Patent- und Markenamt*), no entanto, ao fazer buscas nessas bases e comparando os resultados com os obtidos na USPTO avaliou-se que seriam muito similares e que para o objetivo desta dissertação não seria necessário realizar as buscas de forma redundante.

Já para o período considerado como longo prazo foram avaliados artigos científicos que continham as palavras-chave "*Ammonia Production*" no título já que ao pesquisar em todo o texto dos artigos havia um desvio com relação ao tema central da pesquisa, levando aos indicadores de produção da planta que recebia a aplicação de amônia como fertilizante. Além disso, foram levadas em consideração tanto patentes quanto artigos científicos publicados no período entre 2012 e abril de 2016. Esse período representa o que há de mais atual em relação ao que está sendo publicado nessa área e gerou um conjunto de documentos suficiente para a realização do estudo. Se o período escolhido fosse somente o último ano, como será possível observar mais adiante na seção de resultados a amostra seria insuficiente para que essa dissertação fosse realizada.

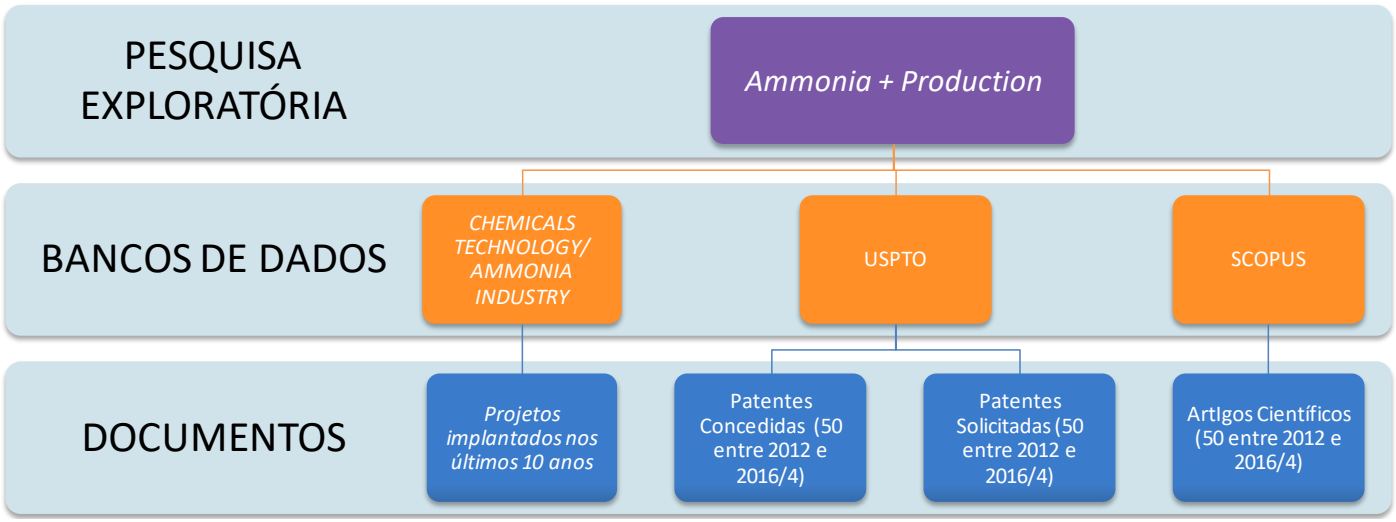


Figura 52. Metodologia de pesquisa exploratória

Fonte: Elaboração própria (2016).

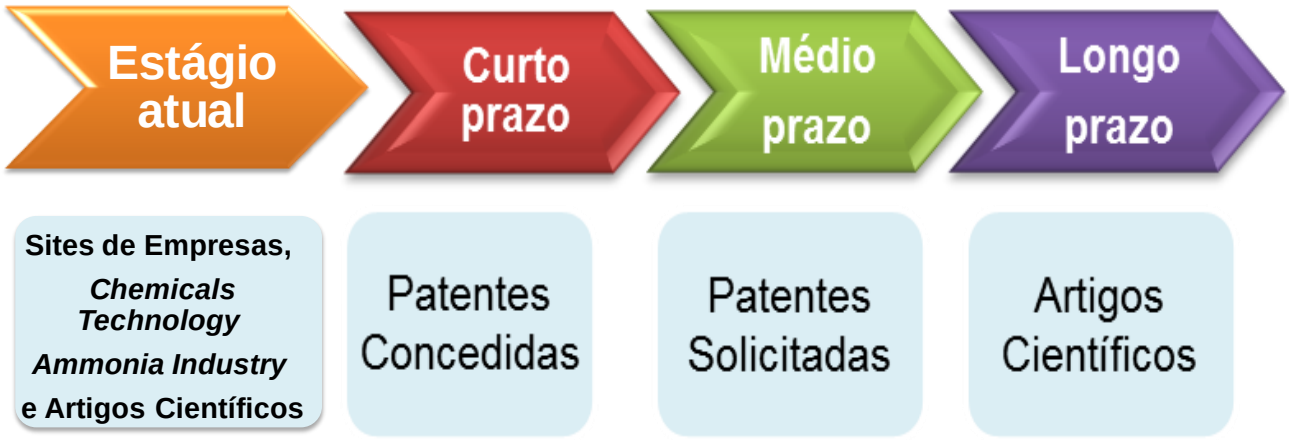


Figura 53. Sequência Temporal

Fonte: Elaboração própria (2016).

A elaboração do *RoadMap* foi realizada conforme metodologia citada no início deste capítulo e a informação foi organizada em diferentes estágios temporais. O mapa tecnológico será dividido em faixas (eixo horizontal) e colunas (eixo vertical) e o *software* utilizado para visualização final será o *Lucidchart* que é uma ferramenta similar à outras para geração de fluxogramas como o *Visio* da *Microsoft*.

O eixo horizontal retrata a divisão de tempo utilizada, descrita a seguir:

Tempo Zero ou Estágio Atual: são mostrados os *players* no momento atual, com tecnologias que são parte do escopo do estudo. Nesse caso, as principais empresas e universidades foram identificadas através de mídias especializadas como os sites das empresas, *Chemicals Technology, Ammonia Industry* e artigos científicos com possibilidade de aplicação da tecnologia no tempo presente.

Curto Prazo: são mostrados os *players* que se estima que estarão atuando no cenário de curto prazo, horizonte de 0-5 anos aproximadamente. Nesse caso, a informação analisada foi obtida das patentes concedidas.

Médio Prazo: são apresentados os *players* que estima-se estarão atuando em um cenário de médio prazo, horizonte de 5-10 anos aproximadamente. Neste caso, a informação analisada foi obtida a partir de patentes solicitadas.

Longo Prazo: são mostrados os *players* em um cenário de longo prazo, horizonte de mais de 10 anos aproximadamente. Neste caso, a informação analisada foi obtida a partir de artigos científicos.

O tempo de aplicação de 0-5 anos, 5-10 anos e mais de 10 anos é a estimativa de quando essa tecnologia possa vir a ser empregada na indústria. Casos como o da indústria farmacêutica tem prazos muito maiores e casos como o de desenvolvimento de softwares, muito mais curtos. Como será observado adiante, o *backlog* médio (tempo médio desde que a patente foi submetida até ser concedida pela USPTO) para a produção de amônia é de três anos e quatro meses. Com isso, é possível ter uma evidência de que esse prazo estimado é válido para a produção de amônia. Por isso entende-se que de 0-5 anos para o curto prazo, 5-10 anos para médio prazo e mais que 10 anos para o longo prazo está bem estimado.

O eixo vertical será dividido em 5 (cinco) seções que correspondem às taxonomias apresentadas mais adiante na Tabela 4, as quais estão relacionadas ao mercado, produto e tecnologia e cujos desdobramentos em novas taxonomias foram fruto da análise dos documentos que compõem a base para o estudo realizado nesta dissertação.

Para cada etapa da pesquisa exploratória, serão realizadas análises macro, quando os dados quantitativos da busca serão agrupados e representados por meio de representações gráficas; meso, quando serão selecionadas as taxonomias mais relevantes de cada documento; e a partir delas se realizará a análise micro, quando as taxonomias identificadas na análise meso serão subclassificadas especificando os detalhes que ordenarão a apresentação do *RoadMap* tecnológico sobre a produção de amônia.

As três etapas da análise a partir das bases de patentes e artigos são descritas abaixo:

Nível Macro: os documentos são analisados de acordo com a distribuição histórica de publicações, por países, por universidades, centros de pesquisa e empresas ligadas ao conhecimento científico e desenvolvimento da tecnologia.

Nível Meso: os documentos são categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes relacionados à produção de amônia. Nessa etapa foram criadas as taxonomias segundo as quais os documentos serão classificados.

Nível Micro: nesta etapa são identificadas as subcategorias de cada taxonomia da análise meso.

Cabe ressaltar que o mesmo documento pode possuir mais de uma taxonomia tanto para a análise Meso quanto para a análise Micro.

As taxonomias utilizadas nesta dissertação são fruto da análise dos documentos durante a fase de prospecção tecnológica, as quais são descritas juntamente com a sua definição no glossário da Tabela 4 e serão detalhadas ao longo deste capítulo:

Tabela 4. Glossário contendo as taxonomias utilizadas nas análises meso e micro e a sua respectiva definição

TAXONOMIA	DEFINIÇÃO
Insumos do Processo	São todos os itens relacionados à produção de amônia que necessitam ser equacionados para que o produto seja produzido. Destacam-se os catalisadores, reatores e membranas.
Aplicação e Produção de Produtos de Amônia	São os produtos produzidos a partir de amônia e a sua aplicação. Destacam-se o hidrogênio e outros fertilizantes nitrogenados como a ureia.
Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese	É o processo de produção de amônia ou gás de síntese, sua tecnologia. Destaca-se o gás de síntese obtido a partir de outras fontes.
Pós-tratamento	São os processos de purificação pelos quais a amônia passa após ser produzida. Destaca-se a "Remoção de CO_2".
Aproveitamento de Energia no Processo	São as tecnologias de "Integração de Processos" para melhor aproveitamento energético. Destaca-se a "Co-Produção de Metanol".

Fonte: Elaboração própria com base nas informações da USPTO (2016).

A pesquisa exploratória para a elaboração do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia seguiu-se com a realização de uma análise quantitativa com base nos dados levantados em revistas especializadas. Inicialmente foi feita uma busca nos sites especializados: *Chemicals Technology* e *Ammonia Industry*, duas fontes de informação mais conceituadas no setor de produção de amônia, para compreender o histórico do desenvolvimento das tecnologias de produção de amônia no mundo nos últimos 10 anos. A partir dessa busca foi estabelecido o estágio atual que considera as plantas que entraram em operação desde 2005 até abril de 2016 ou que estão em fase final de implantação e devem ter o seu start up até o ano de 2018. Foi considerado que a quantidade de empreendimentos implantados nesse período representam uma quantidade relevante de empreendimentos para representar o estágio atual. Se fosse tomado como base os

últimos 5 anos, muitos empreendimentos que iniciaram seu projeto conceitual nesse período, boa parte ainda estaria em implantação e seria um período muito curto.

No Curto Prazo, foram feitas buscas pelas palavras-chave "*ammonia*" *AND* "*production*" no campo "*claim"* da base de dados de patentes concedidas da USPTO (*www.uspto.gov*). A busca foi limitada ao período entre o ano de 2012 e abril de 2016 e foram selecionadas patentes que continham o código C01C1/04 do IPC da World *Intelectual Property Organization* (WIPO) resultando em 128 patentes encontradas, as quais foram analisadas e 50 delas selecionadas de acordo com a sua relevância com relação às taxonomias apresentadas na Tabela 4, para fazer parte desta dissertação e servir de base para a elaboração do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia. Entende-se que um total de 150 documentos – 50 patentes concedidas, 50 patentes solicitadas e 50 artigos científicos – constitui uma quantidade de informações relevantes para a elaboração de um *Roadmap* tecnológico.

No médio prazo, foram feitas buscas pelas palavras-chave "*ammonia*" *AND* "*production*" no campo "*claim"* da base de dados de patentes solicitadas da USPTO. A busca foi limitada ao período entre o ano 2012 e abril de 2016 e selecionadas patentes que continham o código C01C1/04 do IPC da WIPO resultando em 352 patentes encontradas, as quais foram analisadas e 50 delas selecionadas de acordo com a sua relevância com relação às taxonomias apresentadas na Tabela 4, para fazer parte da dissertação e servir de base para a elaboração do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia.

No longo prazo, foram feitas buscas pelas palavras-chave "*ammonia*" *AND* "*production*" no campo título da base de dados *Scopus* (*www.Scopus.com*) que é uma base de artigos científicos tão consolidada quanto outras disponíveis, mas que possui uma ferramenta de agrupamento de informações que facilita a execução das análises quantitativas por autor, por ano da publicação e etc. A busca foi limitada ao período entre 2013 e abril de 2016, resultando em 109 artigos encontrados. Os 109 artigos foram analisados e 50 deles foram selecionados de acordo com a sua relevância com relação às taxonomias apresentadas na Tabela 4, para fazer parte desta dissertação e servir de base para a elaboração do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia.

Nos itens 5.1 a 5.4 a seguir, são apresentados em ordem cronológica, os resultados das análises feitas a partir do conteúdo dos documentos que formam a base para o estudo de prospecção tecnológica e para o desenvolvimento do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia.

5. RESULTADOS DA FASE DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

5.1 Tempo Zero - análise do estágio atual

Na análise dos artigos científicos foi feito um levantamento levando em consideração as tecnologias com potencial de aplicação no tempo zero ou no estágio atual e em seis dos 50 artigos analisados aparecem estudos feitos em unidades existentes com os objetivos de: reduzir a corrosão em equipamentos, analisar o ciclo de vida da amônia ao longo do seu processo produtivo e da sua aplicação e avaliar a eficiência energética e o impacto ambiental da produção de amônia em uma planta existente. Tais temas não tiveram citações suficientes para fazer parte do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, mas estão sendo citados nesta dissertação já que são preocupações do setor que tem sido abordadas pelos *players*.

Com base nos artigos científicos pesquisados, cujo objetivo da pesquisa dessas instituições era a aplicação em plantas existentes, é possível observar que a Escola Politécnica Federal de *Lausanne* da Suíça, bem como a Universidade *Badji Mokhtar* da Algéria estão pesquisando temas relacionados à análise de ciclo de vida da amônia. Outra preocupação das plantas existentes é o desgaste de equipamentos por corrosão provocada pelo processo de produção de amônia e pelas características corrosivas da própria amônia na presença de umidade, bem como dos demais produtos produzidos a partir dela. Os estudos para controle da corrosão que fazem parte da análise dos artigos científicos foram desenvolvidos pelo instituto de pesquisas da indústria de petróleo do Irã. A universidade de *BADJI Mokhtar* publicou artigo sobre a avaliação da eficiência energética e o impacto ambiental da produção de amônia. A análise de ciclo de vida realizada pela Universidade *Badji Mokhtar* foi realizada no complexo de produção de fertilizantes *Annaba*, já a realizada pela Escola Politécnica Federal de *Lausanne* levou em consideração uma planta tradicional de produção de amônia que utiliza a síntese de *Haber-Bosch* como processo produtivo. Foram encontrados resultados relevantes com relação à emissão de gases de efeito estufa e propostas mudanças na planta e no processo produtivo para a redução do impacto ambiental da produção de amônia.

Na Tabela 5 estão representados os empreendimentos pesquisados no site *Chemicals Technology,* ordenados pelo continente no qual o projeto foi implantado, juntamente com informações relevantes como o país onde o empreendimento foi ou será implantado; se o empreendimento era integrado com uma planta de produção de ureia; suas respectivas capacidades de produção de amônia em mil toneladas por ano; o valor total investido em cada projeto e a empresa responsável pelo investimento:

Tabela 5. Projetos ordenados pelo continente que foram ou serão implantados e informações relevantes sobre cada empreendimento.

Projeto	Continente	País	Ureia	Capacidade (mil ton/ano)	Investimento (milhões de dólares)	Empresa responsável pelo investimento
Phu My	Asia	Vietnã	Sim	420	445	Vietnã Oil and Gas Corporation (Petro Vietnã)
Kitimat	América do Norte	Canadá	Sim	300	100	Pacific Ammonia Inc
IFFCO Ammonia-Urea Complex	Ásia	Índia	Sim	400	700	Indian Farmers Fertiliser Co-operative's (IFFCO)
Safco IV	Ásia	Arábia Saudita	Sim	1100	520	Safco
Burrup Fertilisers Ammonia Plant	Oceania	Austrália	Não	760	510	Burrup Fertilisers Pty Ltd and Yara
Helwan Fertilizer Company	África	Egito	Sim	440	335	Helwan Fertilizer Company
Chittagong Urea Fertilizer Factory	Ásia	Índia	Sim	490	700	Chittagong Urea Fertiliser Factory Ltd
Sohar International Urea & Chemical Industries (SIUCI) Fertiliser Complex	Ásia	Omã	Sim	2000	638	Sohar International Urea and Chemical Industries (SIUCI)
Sorfert Algerie Fertiliser Complex	África	Argélia	Sim	800	1900	Sorfert Argélia
Pequiven Ammonia Plant	América do Sul	Venezuela	Sim	1800	100	Petroquimica de Venezuela SA
QAFCO V and VI Projects	Ásia	Catar	Sim	3800	3200	Yara International, Qatar Fertiliser Co
Yara Sluiskil	Europa	Holanda	Sim	1300	500	Yara Sluiskil
Argélia Oman Fertiliser Complex	África	Argélia	Sim	1460	2400	Argélia Oman Fertiliser Company
Ca Mau Fertiliser Plant	Ásia	Vietnã	Sim	450	900	PetroVietnã
Matrix Fertilisers and Chemicals' Fertiliser Complex	Ásia	Índia	Sim	3000	1100	Matrix Group
Fertil-2 Project	Ásia	Emirados Árabes Unidos	Sim	365	1200	Abu Dhabi National Oil Company e Total
Koch Nitrogen's Enid Facility Expansion	América do Norte	Estados Unidos	Sim	900	1300	Koch Nitrogen
Indorama Eleme's Fertiliser Plant	África	Nigéria	Sim	2300	1200	Indorama Eleme Fertilizer & Chemicals Limited (IEFCL)
IFCo Nitrogen Fertiliser Plant	América do Norte	Estados Unidos	Sim	7000	1000	Iowa Fertilizer Company
Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos's (YPFB) Fertiliser Plant	América do Sul	Bolívia	Sim	440	843	Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB)
Sabah Ammonia Urea (SAMUR) Project	Ásia	Malásia	Sim	740	1500	PETRONAS Chemicals Group
Tatarstan Fertiliser Complex	Ásia	Rússia	Não	750	1600	Government of Tatarstan e Gazprom
MFC's Greenfield Fertiliser Complex	América do Norte	Estados Unidos	Sim	2200	2400	Midwest Fertilizer Corporation

Fonte: Elaboração própria com informações do *site*: *www.chemicals-technology.com* (2016).

Na Tabela 6, os mesmos empreendimentos foram ordenados de acordo com o ano de implantação e foram apresentadas as empresas responsáveis pela tecnologia de produção de amônia, bem como pela engenharia, construção e montagem de cada empreendimento:

Tabela 6. Projetos ordenados pelo ano que foram ou serão implantados os empreendimentos e informações relevantes sobre cada um deles.

Projeto	Start up	Tecnologia	Empresa responsável pela engenharia, construção e montagem (EPC)
Phu My	2004	Haldor Topsoe	Technip and Samsung Engineering
Kitimat	2006	KBR	MW Kellog
IFFCO Ammonia-Urea Complex	2006	KBR	Kellogg Brown and Root (KBR)
Safco IV	2006	Uhde	The Uhde Group
Burrup Fertilisers Ammonia Plant	2006	KBR	SNC-Lavalin
Helwan Fertilizer Company	2007	Uhde	Uhde GmbH e Orascom Construction Industries
Chittagong Urea Fertilizer Factory	2009	Toyo Engineering Corporation	Toyo Engineering Corporation
Sohar International Urea & Chemical Industries (SIUCI) Fertiliser Complex	2009	Haldor Topsoe	Mitsubishi Heavy Industries e Jacobs Engineering
Sorfert Algerie Fertiliser Complex	2011	Uhde GmbH	Orascom Construction Industries (OCI) /Sonatrach
Pequiven Ammonia Plant	2011	KBR	Kellogg Brown and Root (KBR)
QAFCO V and VI Projects	2011	Haldor Topsoe	Snamprogetti e Hyundai Engineering e Construction Company
Yara Sluiskil	2011	Uhde GmbH	ThyssenKrupp Uhde
Algeria Oman Fertiliser Complex	2012	Haldor Topsoe	Mitsubishi Heavy Industries (MHI) e Korea's Daewoo Engineering & Construction
Ca Mau Fertiliser Plant	2012	Haldor Topsoe	Consortium of China National Machinery Imports and Exports e Wuhuan Engineering
Matrix Fertilisers and Chemicals' Fertiliser Complex	2012	KBR	Engineering Projects India Limited (EPIL)
Fertil-2 Project	2013	Haldor Topsoe	Chiyoda Engineering Corporation e Samsung Engineering
Koch Nitrogen's Enid Facility Expansion	2014	KBR	Black & Veatch
Indorama Eleme's Fertiliser Plant	2015	KBR	Daewoo Nigeria e Global Toyo Engineering
IFCo Nitrogen Fertiliser Plant	2015	KBR, Uhde e Stamicarbon	OCI Construction Group
Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos's (YPFB) Fertiliser Plant	2015	KBR	Samsung Engineering, Toyo Engineering, KBR
Sabah Ammonia Urea (SAMUR) Project	2015	Haldor Topsoe	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Apex Energy e Pt Rekayasa Industri (Rekind)
Tatarstan Fertiliser Complex	2015	Haldor Topsoe	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Sojitz Corporation of Japan e China National Chemical Engineering (CNCEC)
MFC's Greenfield Fertiliser Complex	2016	KBR	Maire Tecnimont (MET), Jacobs Engineering Group
Port Neal Nitrogen Complex Expansion	2016	Uhde	ThyssenKrupp Uhde, CDI Corp e Boh Bros
PhosAgro Ammonia Production Facility	2016	Haldor Topsoe	Mitsubishi Heavy Industries, Sojitz and Renaissance Heavy Industries (RHI), Haldor Topsoe e Gazprom
Ramagundam Fertiliser Plant	2018	Avaliando Tecnologia	A ser definida

Fonte: Elaboração própria com informações do *site*: *www.chemicals-technology.com* (2016).

Foram realizadas buscas no site *Ammonia Industry* (*www.ammoniaindustry.com*) que leva em conta somente os empreendimentos nos Estados Unidos e Canadá, cujos resultados foram agrupados e representados na Tabela 7 de acordo com as plantas que entraram em operação em 2015 ou que tenham *start up* anunciado para os próximos 5 anos. Foram indicadas também quais seriam os projetos *greenfield* que segundo (GUPTA, 2011), são aqueles que não necessitam um trabalho prévio em relação à presença de instalações ou infraestrutura existentes. Foram também indicados os projetos *brownfield* na qual ao contrário dos projetos *greenfield*, é necessário lidar com instalações ou infraestrutura existentes, além de outros que são chamados *restart* nos quais uma planta existente que deixou de operar, volta ou voltará a produzir amônia. Na Tabela 7 são apresentadas também informações relevantes como o país no qual o empreendimento foi ou será implantado e a fase na qual cada empreendimento estava em abril de 2016 quando esses resultados foram compilados:

Tabela 7. Projetos ordenados pelo ano que foram ou serão implantados os empreendimentos e informações relevantes sobre cada um deles

Empresa	**Ano**	**Fase**	***Novo empreendimento***	***Melhoria em planta existente***	***Reinício da produção em planta existente***	**País**
Yara / BASF joint venture	2015	Construção	Não	Sim	Não	Estados Unidos
PCS Nitrogen LP (Potash Corporation of Saskatchewan / PotashCorp)	2015	Operação	Não	Sim	Não	Estados Unidos
OCI Partners LP (Orascom)	2015	Operação	Não	Não	Sim	Estados Unidos
Pallas Nitrogen Texas LLC	2016	Execução	Não	Não	Sim	Estados Unidos
Mississippi Power Company (Southern Company)	2016	Construção	Sim	Não	Não	Estados Unidos
Koch Fertilizer Beatrice LLC (Koch Industries Inc)	2016	Construção	Não	Sim	Não	Estados Unidos
Agrium	2016	Construção	Não	Sim	Não	Estados Unidos
Koch Fertilizer Canada ULC (Koch Industries Inc)	2016	Construção	Não	Sim	Não	Canadá
Fortigen Geneva LLC (Tetrad Corporation)	2017	Planejamento	Sim	Não	Não	Estados Unidos
Midwest Ammonia Inc (Midwest BioEnergy Ltd)	2017	Planejamento	Não	Sim	Não	Estados Unidos
J.R. Simplot	2017	Construção	Não	Sim	Não	Estados Unidos
Dakota Gasification Company (Basin Electric Power Cooperative)	2017	Construção	Não	Sim	Não	Estados Unidos
Investimus Foris (ICOR)	2018	Planejamento	Não	Sim	Não	Estados Unidos
Gulf Coast Ammonia LLC (Agrifos Partners LLC / Borealis)	2019	Planejamento	Não	Sim	Não	Estados Unidos
AM Agrigen Industries	2019	Planejamento	Sim	Não	Não	Estados Unidos
IFFCO Canada	2020	Planejamento	Não	Sim	Não	Canadá

Fonte: Elaboração própria com informações do *site*: www.ammoniaindustry.com (2016).

Nesse levantamento ficam evidenciadas algumas empresas que tradicionalmente geram inovações tecnológicas incrementais com relação à síntese *Haber-Bosch*. Será interessante observar que as empresas que forneceram as tecnologias empregadas nos empreendimentos implantados recentemente e que são apresentados nas Tabelas 5 e 6, em sua grande maioria as que aparecem nos resultados de curto e médio prazos do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia. Cabe adicionar ainda que os empreendimentos listados na Tabela 7 não trazem informação sobre a tecnologia de produção de amônia empregada porque o *site Ammonia Industry* não publicou esta informação.

Essas detentoras de tecnologia e donas de empreendimentos que tiverem desenvolvimentos tecnológicos na área de produção de amônia serão posicionadas mais adiante no *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia de acordo com as respectivas taxonomias após uma análise nos sites e brochuras sobre as tecnologias empregadas por cada uma delas nos empreendimentos identificados na Tabela 6.

5.2 Curto Prazo - Busca em Patentes Concedidas

5.2.1 Análise Macro - Curto Prazo

A análise macro leva em consideração o ano da publicação, continentes e países que mais contribuíram para o desenvolvimento de tecnologia relacionada à produção de amônia, bem como autores e instituições responsáveis pelas patentes concedidas. A análise foi feita de acordo com a metodologia e critérios descritos anteriormente e levaram em consideração 50 patentes.

A primeira análise é a da evolução do número de patentes concedidas a cada ano como mostra a Figura 54. É possível observar que no período analisado de 2012 a abril/2016, o ano de 2015 foi o que apresentou o maior número de patentes concedidas. No ano de 2016 a pesquisa leva em conta somente os 4 primeiros meses do ano. É possível observar que o número de patentes concedidas dentro dos critérios analisados apresenta uma evolução, chegando a 18 patentes concedidas em 2015.

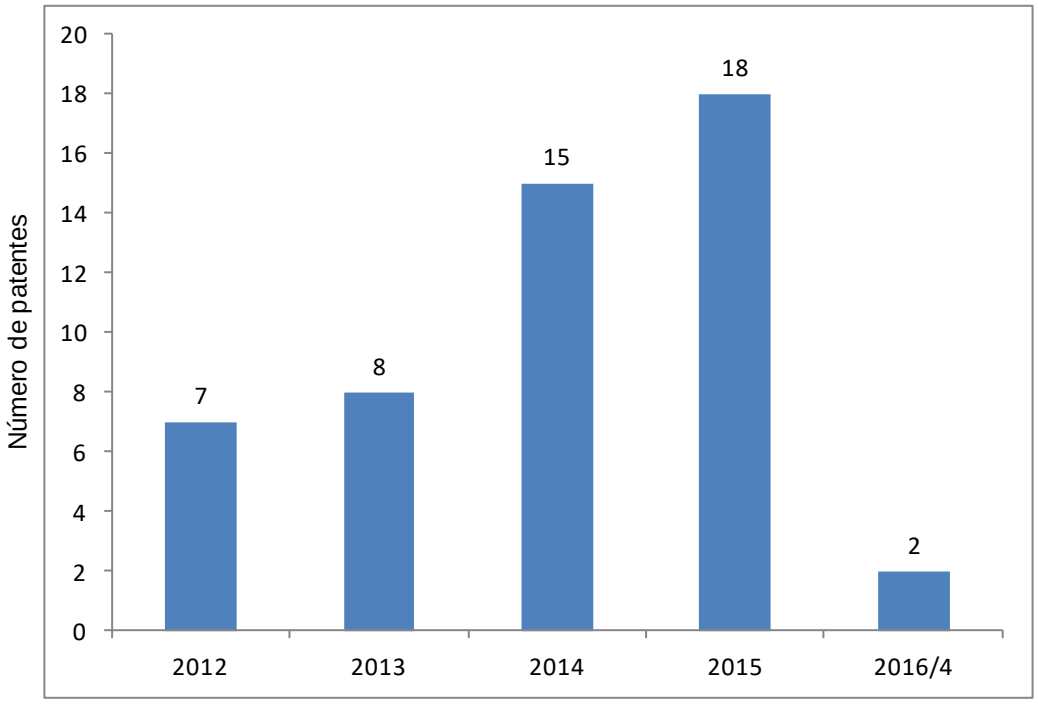


Figura 54. Patentes concedidas por ano - 2012 a 2016/4

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

As datas consideradas nessa análise levaram em consideração a data na qual a patente foi concedida. Foi feita também uma análise baseada nas datas em que as patentes foram depositadas na USPTO até a data que elas foram concedidas foi chamado pelo autor desta dissertação de tempo de *backlog*. Os resultados para o tempo de *backlog* são mostrados na Figura 55 sendo que o tempo médio entre a data que a patente foi depositada até ela ter sido concedida foi de 3 anos e 4 meses para as 50 patentes concedidas que foram analisadas nesta dissertação.

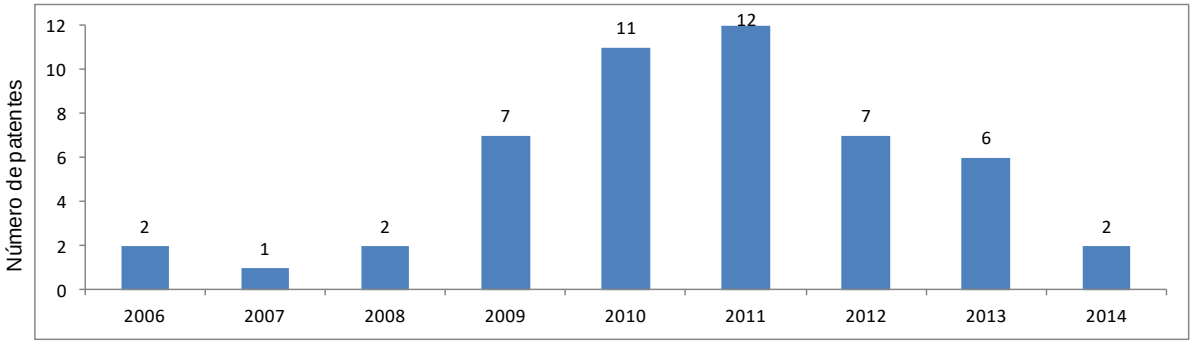


Figura 55. Patentes concedidas - ano no qual foram solicitadas

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

Na Figura 56 estão representados os continentes cujas instituições responsáveis pelas patentes concedidas estão localizados. Observa-se que a América do Norte é o continente que mais possui instituições com patentes concedidas que fazem parte desta análise. Em segundo lugar, está a Europa, continente muito voltado ao desenvolvimento de tecnologias relacionadas à produção de amônia, já que boa parte das detentoras de tecnologia em produção de amônia estão estabelecidas naquele país. Em terceiro, ainda com bastante destaque, vem a Ásia, seguida de Oceania e América do Sul. A África não teve nenhuma patente dentre as 50 analisadas nesta dissertação.

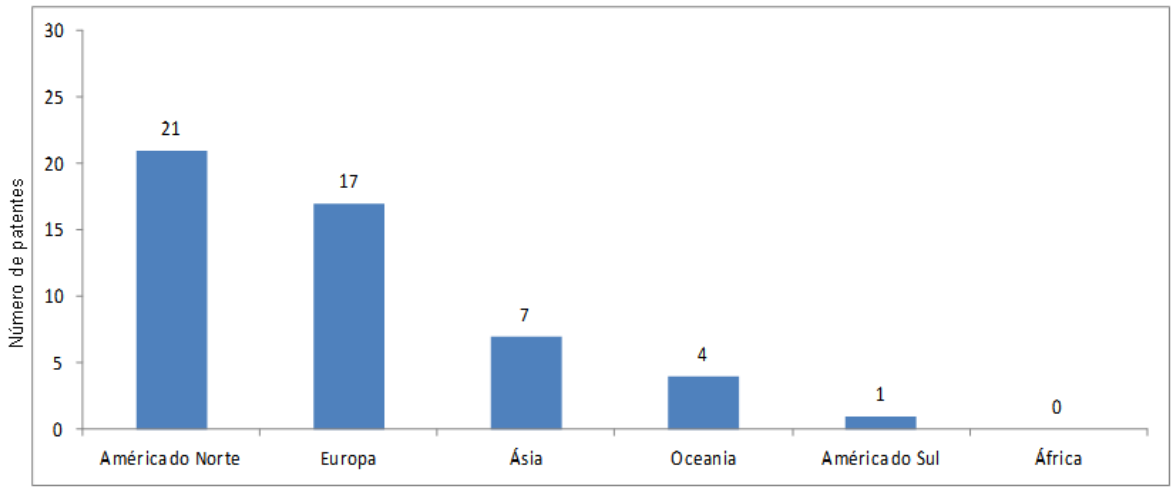


Figura 56. Instituições responsáveis pelas patentes concedidas - por continente
Fonte: Elaboração própria (2016).

É possível observar na Figura 57 que há países que são líderes continentais e mundiais que possuem patentes concedidas com o tema produção de amônia analisadas, sendo que os Estados Unidos predominam na América do Norte. Na Europa, a Alemanha lidera seguida de Suíça e Dinamarca. A Inglaterra vem logo na sequência e completam o *ranking* na Europa, a França e a Holanda. O Japão lidera na Ásia e é destaque mundial, a China também fez parte da análise com uma patente concedida. Na Oceania, a Nova Zelândia aparece com destaque com 4 patentes publicadas e na América do Sul, o Brasil aparece com uma patente.

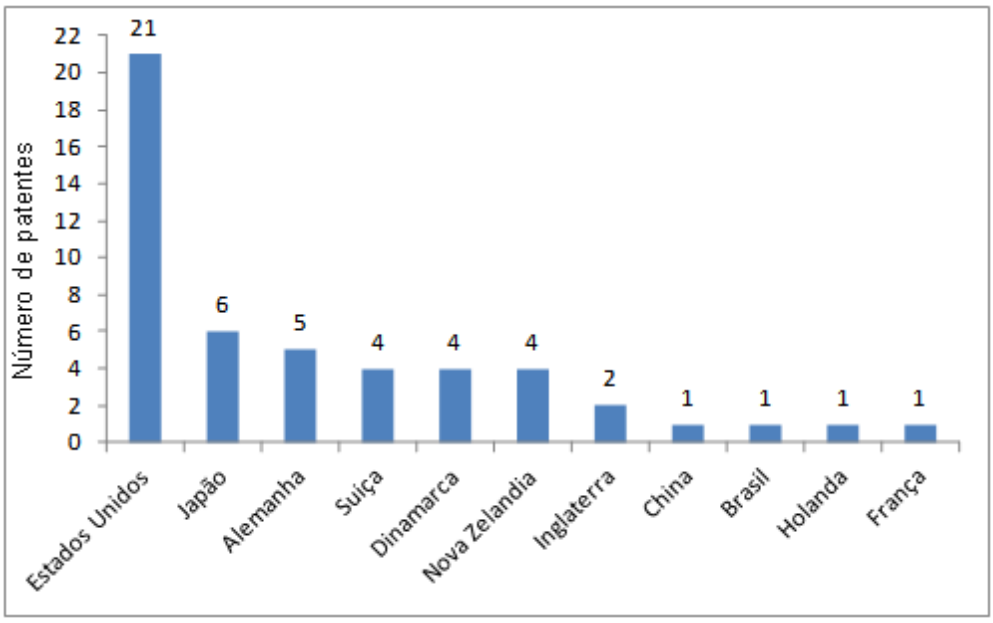


Figura 57. *Ranking* dos países que mais apareceram na base de patentes concedidas analisadas
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

Os Estados Unidos, com 21 patentes concedidas, são destaque mundial ao ser o país com mais patentes concedidas na base de patentes analisada. O Japão (seis) é o segundo país que mais aparece, seguido de Alemanha (5), Suíça, Dinamarca, Nova Zelândia (quatro) e Inglaterra (duas) e um grupo de quatro países que aparecem com uma patente concedida, são eles: China, Brasil, Holanda e França.

Ao analisar as patentes concedidas que fazem parte desta dissertação com relação ao tipo de instituição, como mostra a Figura 58, é possível ver que a grande maioria foi concedida a empresas, com 82% do total. É importante destacar também a participação de pessoas físicas (10%), universidades (6%) e institutos de pesquisa que representam 2% do total. Com relação às pessoas físicas, foi feita uma busca pelos nomes na base de perfis do *Linkedin* e boa parte delas são ou foram pesquisadores em empresas e instituições acadêmicas que apresentam pesquisas relacionadas à produção de amônia.

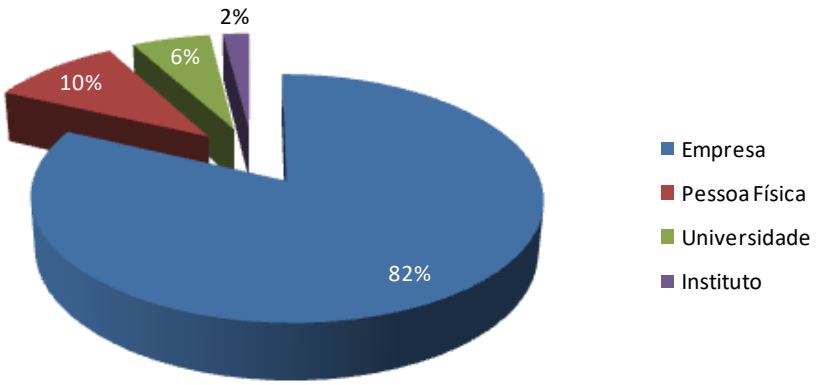


Figura 58. Tipos de instituição que mais apareceram na base de patentes concedidas analisadas
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

Nesse levantamento das instituições que participaram da base de patentes concedidas, cuja representação está na Figura 59, é possível observar uma diversidade de instituições. O destaque é para a *LanzaTech New Zealand Limited* e para a *Haldor Topsoe A/S* com quatro registros. Com três patentes concedidas aparecem: *GTLpetrol LLC* e *Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha Corporation* e com dois registros: *Ammonia Casale AS, Hitachi Zosen Corporation, Robert Bosch GmbH, Roger Gordon, Altmerge LLC, McAlister Technologies LLC* e *GM Global Technology Operations LLC.* As demais instituições aparecem com uma patente concedida.

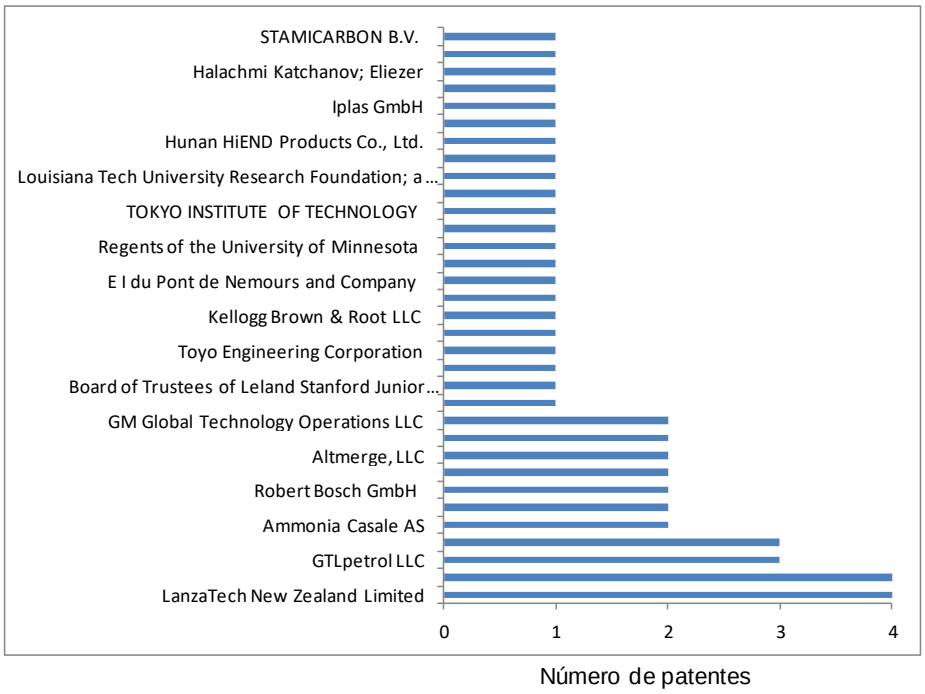


Figura 59. Instituições que apareceram na base de patentes concedidas analisadas
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

5.2.2 Análise Meso - Curto Prazo

Na análise meso, as taxonomias apresentadas anteriormente na Tabela 4 são contabilizadas em número de registros em cada uma das patentes concedidas. Foi observado que há mais de uma taxonomia em cada patente concedida. A Figura 60 representa as taxonomias que mais relevância tiveram na análise das patentes concedidas e ao aparecer mais vezes é possível indicar que essas são linhas de pesquisa relacionadas à produção de amônia que tem tido maior preocupação quanto a sua propriedade intelectual. Tratam-se de pesquisas realizadas com potencial de implantação no curto prazo.

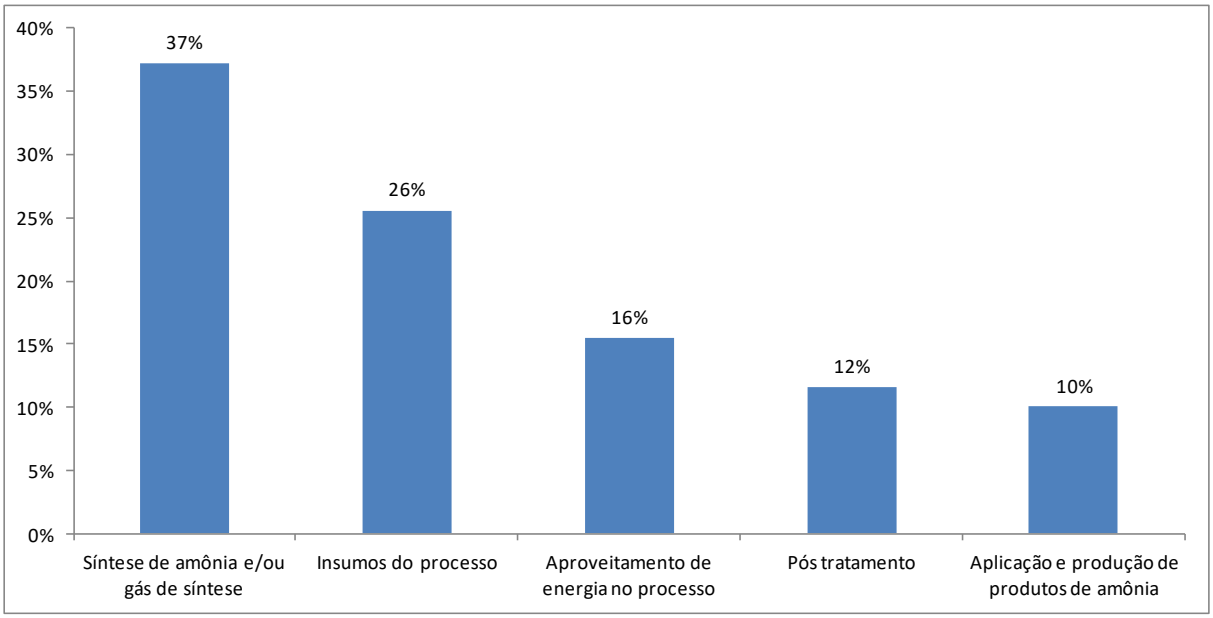


Figura 60. Número de registros das taxonomias nas patentes concedidas analisadas

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

As pesquisas relacionadas à "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" são as que atualmente têm maior representatividade na área de produção de amônia aparecendo 48 vezes dentre as 50 patentes concedidas analisadas. Além disso, os "Insumos de Processo" aparecem com destaque e foram citados em 33 das 50 patentes concedidas que integram a amostra analisada nesta dissertação. Na sequência aparecem as tecnologias de "Aproveitamento de Energia no Processo", seguidos das tecnologias de "Pós-Tratamento" de amônia. Com 13 registros está a "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia", sendo que esses produtos são principalmente os fertilizantes nitrogenados produzidos a partir da amônia.

5.2.3 Análise Micro - Curto Prazo

Na análise micro foram exploradas as taxonomias mais frequentes encontradas na análise meso: "Insumos do Processo", "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia", "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese", "Aproveitamento de Energia no Processo" e "Pós-Tratamento":

"Insumos do Processo": conforme apresentado na Figura 61 em 40,4% das registros nas patentes concedidas, as pesquisas estavam relacionadas aos "Reatores", essa taxonomia apareceu 19 vezes dentre as 50 patentes concedidas analisadas. Dentre os "Reatores" é possível destacar os adiabáticos de leito fixo e de fermentação com cinco citações cada, apareceram também os reatores de plasma e de combustível oxidante, três vezes cada, além de modificações no tradicional reator de reforma a vapor que foi citado uma vez dentre as patentes concedidas. Em segundo lugar dentre as taxonomias mais citadas com 31,9% das registros estão as taxonomias relacionadas ao desenvolvimento de catalisadores: "Catalisador com Propriedades de Redução e Oxidação", as quais apareceram em 15 das 50 patentes concedidas analisadas. Em terceiro lugar (12,8%) aparece o uso de uma "Fonte Renovável de Energia para o Processo" com destaque para a energia solar, essas taxonomias apareceram em 5 patentes concedidas e por último com duas citações está o uso de um diluente reativo sendo o CO_2 supercrítico pesquisado.

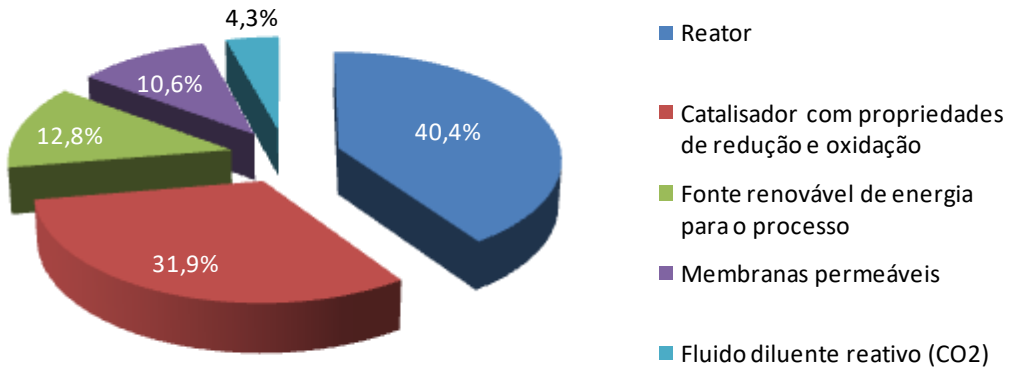


Figura 61. Análise micro - "Insumos do Processo" - percentual de cada taxonomia

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

"Aplicação e Produção de Produtos de Amônia": diferentemente do que será visto mais adiante nos artigos científicos analisados, a "Produção de Hidrogênio" por meio da decomposição de amônia não apareceu nenhuma vez dentre as citações como "Aplicação e Produção de Produtos da Amônia" nas patentes concedidas. A grande

maioria das citações faz referência ao uso da amônia como matéria-prima para a "Produção de Outros Fertilizantes Nitrogenados"; também aparece com menor destaque o "Uso da Amônia como Combustível" como é apresentado na Figura 62.

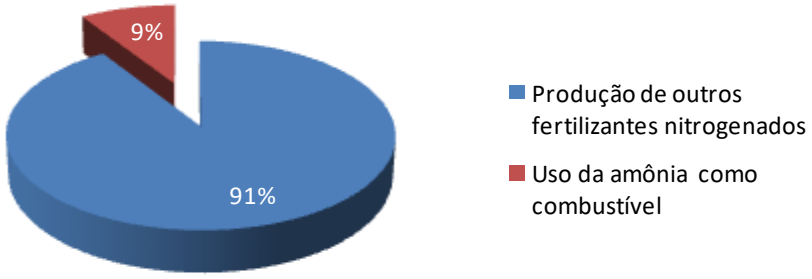


Figura 62. Análise micro - "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia" - percentual de cada taxonomia

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

"Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese": as taxonomias: "Reação Catalítica Seletiva" apareceram em 28,6% das patentes concedidas analisadas (37 citações), seguida do "Reciclo de Gases/Vapores" com 16,8%, "Reforma a Vapor de Hidrocarbonetos" e "Gás de Exaustão" (10,9%); "*Pressure-Swing-Adsorption (PSA)*" (8,4%), "Síntese a partir de Ar e Água" (5,9%), "Reforma Secundária com Injeção de Ar" (5%), "Reação de Oxidação Parcial" (4,2%), "Reação de Substituição de Água por Gás" e "Gaseificação e Síntese a partir de Biomassa" com 3,4% para completar as taxonomias relacionadas à "Síntese de Amônia ou Gás de Síntese" que apareceram nas patentes concedidas conforme mostra a Figura 63.

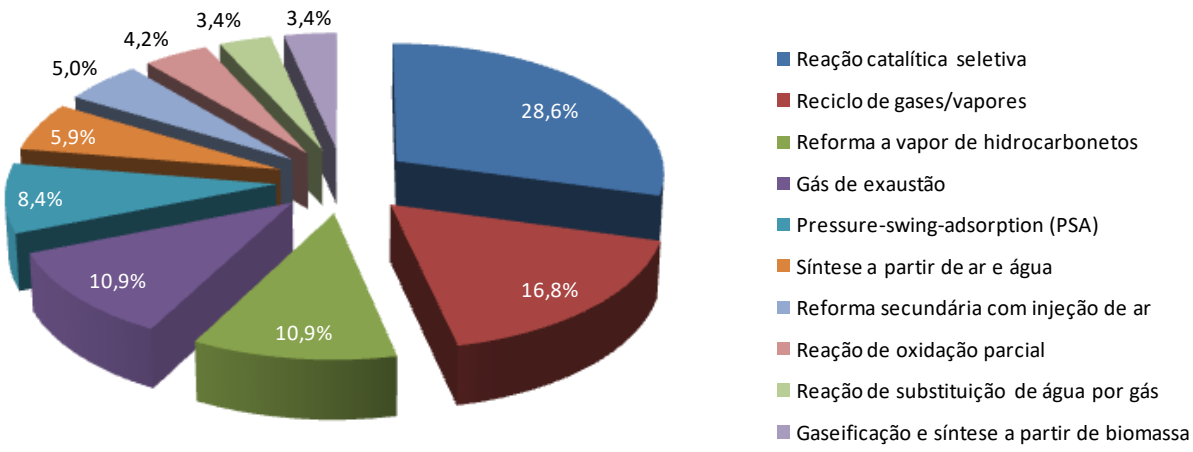


Figura 63. Análise micro - "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" - percentual de cada taxonomia

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

"Aproveitamento de Energia no Processo": das 50 patentes concedidas analisadas em 11 aparecem taxonomias relacionadas ao "Aproveitamento de Energia no Processo" sendo que em 55% ou seja, em seis citações, aparece a "Co-Produção de Amônia e Metanol" e nos outros 45% ou em cinco citações aparece a "Integração de Processos" conforme apresenta a Figura 64.

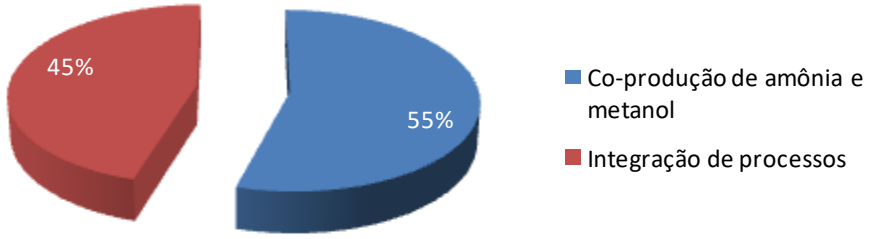


Figura 64. Análise micro - "Aproveitamento de Energia no Processo" - percentual de cada taxonomia
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

"Pós-Tratamento": em 31% das registros nas patentes concedidas estão registradas a "Purificação de Gases" com 18 citações. Em segundo lugar com 14 registros está a "Separação Gás-Líquido e Condensação", seguida da "Separação Criogênica" (20,7%), "Metanação de Óxidos de Carbono" (13,8%) e a "Remoção de CO_2" com menor destaque aparecendo em seis das 50 patentes solicitadas, representando 10,3%. Esses resultados estão representados na Figura 65.

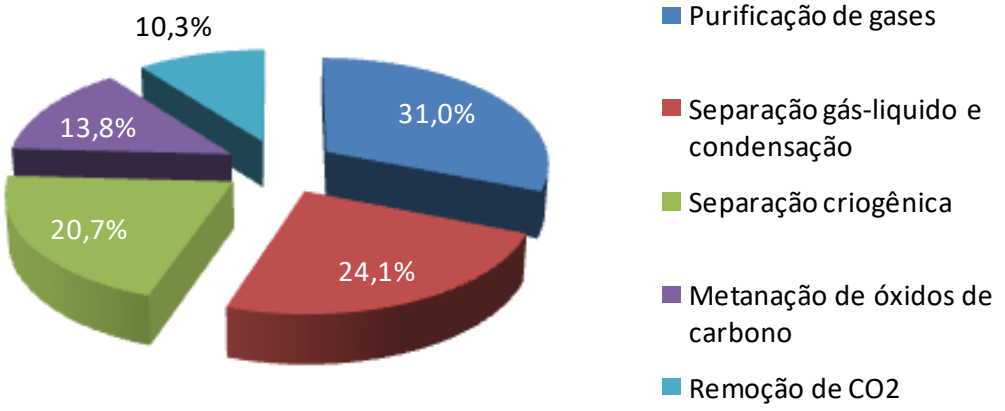


Figura 65. Análise micro - "Pós-Tratamento" - percentual de cada taxonomia
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

5.3 Médio Prazo - Busca em Patentes Solicitadas

5.3.1 Análise Macro - Médio Prazo

A análise macro leva em consideração o ano da publicação, continentes e países que mais contribuíram para o desenvolvimento de tecnologia relacionados à produção de amônia, bem como autores e instituições responsáveis pelas patentes solicitadas. A análise foi feita de acordo com a metodologia e critérios descritos anteriormente e levaram em consideração 50 patentes. Há patentes que foram solicitadas por mais de uma instituição por terem sido desenvolvidas em parceria, por isso, o número total de instituições com patentes solicitadas excede o total de 50.

A primeira análise é a da evolução do número de patentes solicitadas a cada ano como mostra a Figura 66. É possível observar que no período analisado de 2012 a abril de 2016, o ano de 2015 foi o que apresentou o maior número de patentes solicitadas. No ano de 2016 a pesquisa leva em conta somente os 4 primeiros meses do ano. É possível observar que o número de patentes solicitadas no ano de 2015 é muito maior que nos outros anos, chegando a 27 patentes solicitadas naquele ano.

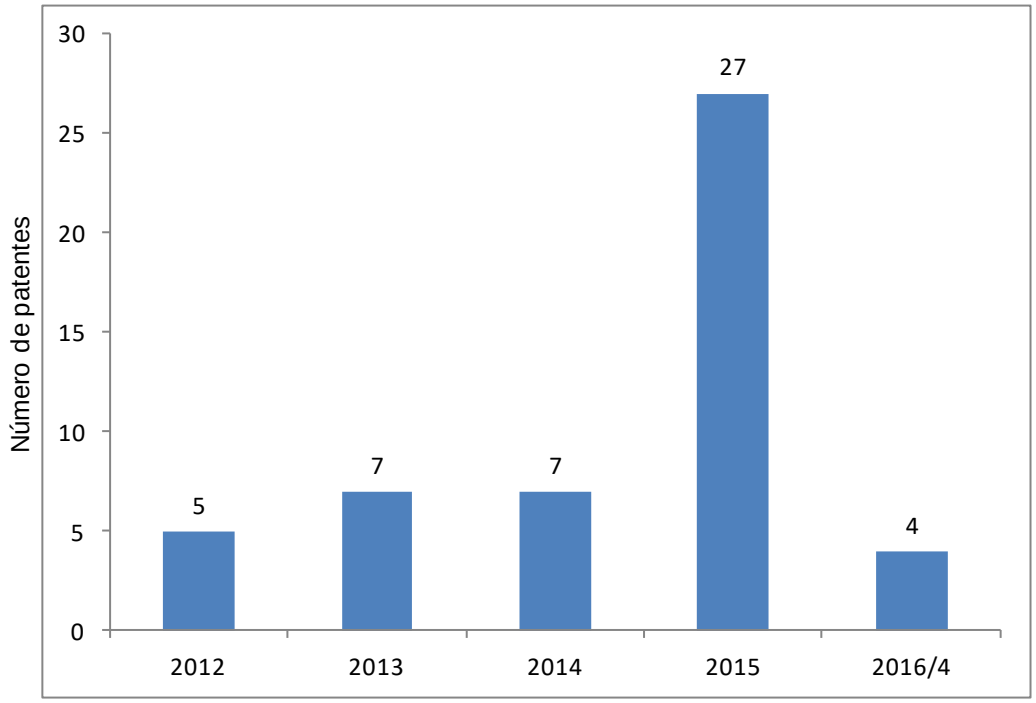


Figura 66. Patentes solicitadas por ano - 2012 a 2016/4

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

Na Figura 67 estão representados os continentes cujas instituições responsáveis pelas patentes solicitadas estão localizadas. Observa-se que a América do Norte é o continente que mais possui instituições com patentes solicitadas nessa análise. Em segundo lugar está a Europa, em terceiro, ainda com destaque vem a Ásia, seguida da Oceania. A África e a América do Sul não tiveram nenhuma patente dentre as analisadas.

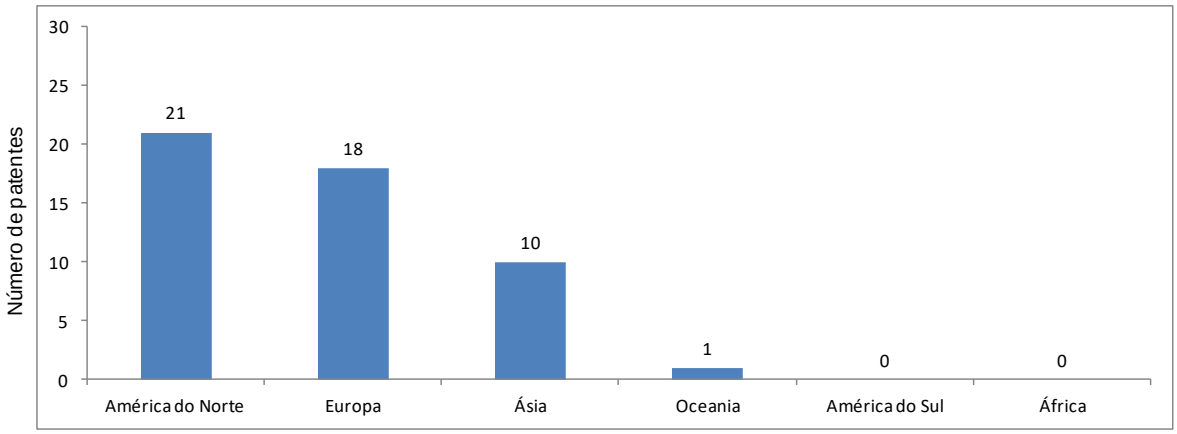


Figura 67. Instituições responsáveis pelas patentes solicitadas - por continente

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

É possível observar na Figura 68 que há países que são líderes continentais e mundiais nas patentes concedidas com o tema produção de amônia sendo que os Estados Unidos predominam na América do Norte e no mundo. Na Europa lidera a Suíça seguida da Alemanha, Dinamarca e Luxemburgo. Completam o *ranking* por parte da Europa, a França, a Holanda e a Inglaterra. O Japão lidera na Ásia. Taiwan e Arábia Saudita também fazem parte da análise com uma patente solicitada cada. Na Oceania, a Austrália também apareceu com uma patente solicitada.

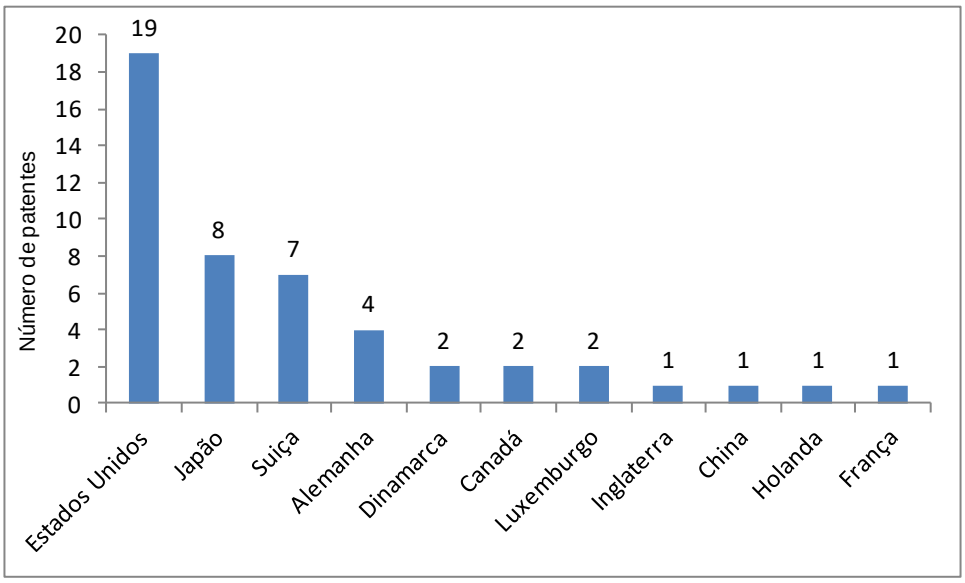


Figura 68. *Ranking* dos países que mais apareceram na base de patentes solicitadas analisadas
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

Os Estados Unidos (19) são destaque mundial mais uma vez ao ser o país com mais patentes solicitadas na base de patentes analisada nesta dissertação. O Japão (oito) é o segundo país que mais aparece, seguido de Suíça (sete), Alemanha (quatro), Dinamarca, Canadá e Luxemburgo (duas) e um grupo de quatro países que aparecem com uma patente solicitada, são eles: Inglaterra, China, Holanda e França.

Ao analisar a base de patentes solicitadas que serviram de base para esta dissertação com relação ao tipo de instituição como mostra a Figura 69 é possível ver que a maioria foi solicitada por empresas, com 66% do total. É importante destacar também a participação de pessoas físicas (18%), universidades (12%) e institutos de pesquisa com 4% do total. Com relação às pessoas físicas, cabe ressaltar que é um número expressivo e da mesma forma que observado no Curto Prazo, foi feita uma busca pelos perfis disponíveis no *Linkedin* e são pessoas que atuaram ou vem atuando em instituições acadêmicas ou empresas com pesquisas relacionadas à produção de amônia. No caso das patentes solicitadas especificamente, aparecem pessoas físicas que têm financiado pesquisas em outros temas de inovação que não somente a produção de amônia.

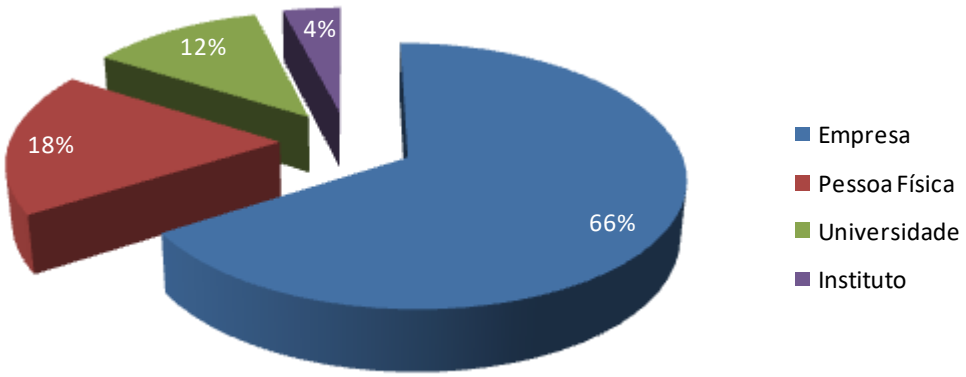


Figura 69. Tipos de instituição que mais apareceram na base de patentes solicitadas analisadas
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

Nesse levantamento das instituições que participaram da base de patentes solicitadas cuja representação está na Figura 70 é possível observar uma diversidade de instituições. O destaque é para a *Ammonia Casale AS* com seis registros. Com três patentes solicitadas aparece a *Kellogg Brown & Root LLC* e com dois registros: *Spawnt Private S.a.r.l. e Altmerge LLC.* As demais instituições aparecem por uma vez.

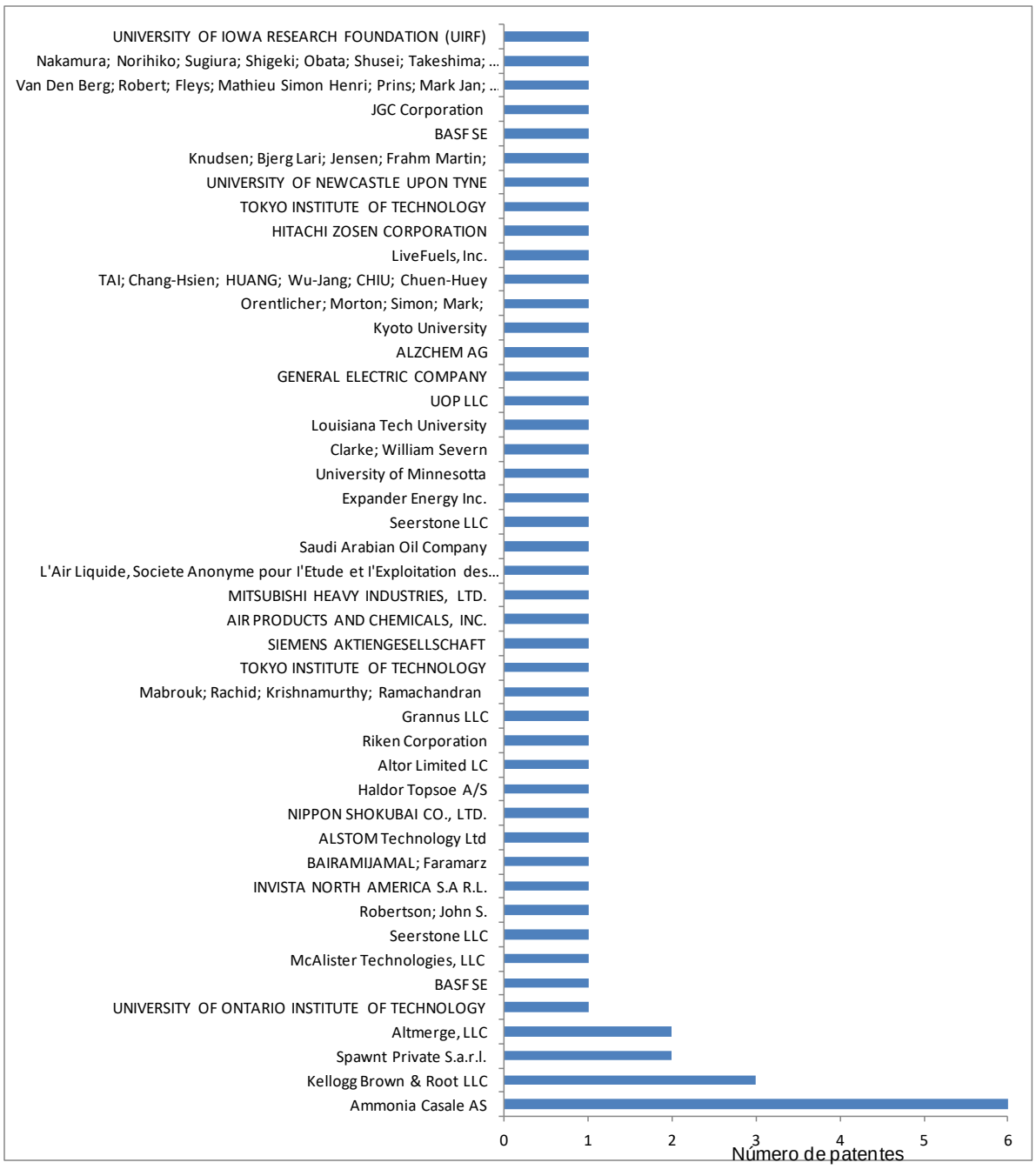


Figura 70. Instituições que apareceram na base de patentes solicitadas analisadas

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

5.3.2 Análise Meso - Médio Prazo

Na análise meso, as taxonomias apresentadas anteriormente são contabilizadas em número de registros em cada uma das patentes solicitadas. Normalmente há mais de uma taxonomia em cada patente solicitada. A Figura 71 representa as taxonomias que tiveram maior relevância na análise das patentes solicitadas e ao aparecer mais vezes é possível indicar que essas são linhas de pesquisa relacionadas à produção de amônia que tem tido maior preocupação quanto a sua propriedade intelectual por parte das instituições. Tratam-se de pesquisas realizadas com potencial de implantação no médio prazo.

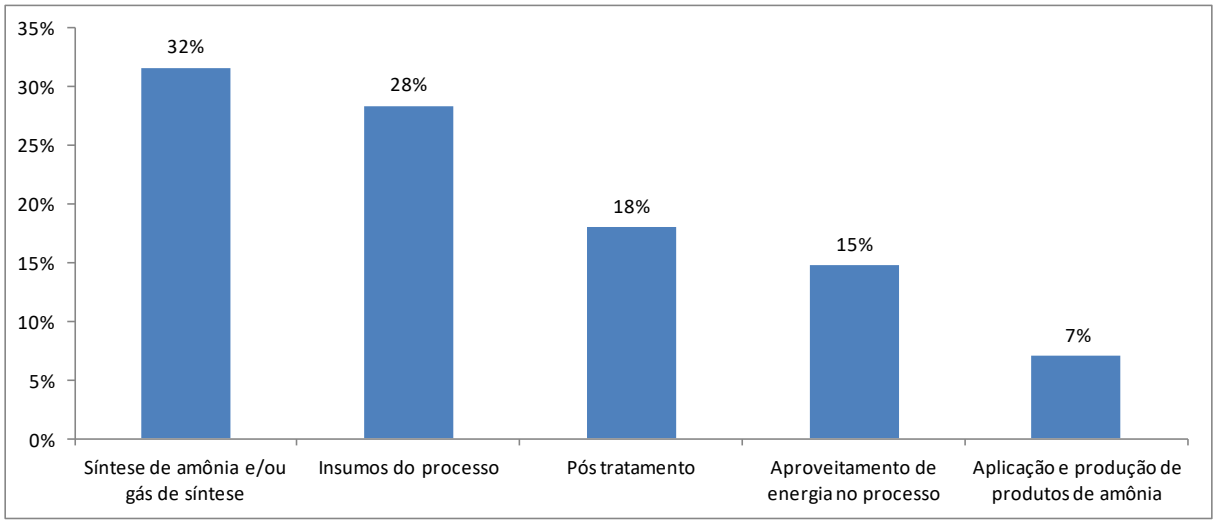


Figura 71. Número de registros das taxonomias nas patentes solicitadas analisadas

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

As pesquisas relacionadas à "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" são as que atualmente têm maior representatividade na área de produção de amônia aparecendo 49 vezes dentre as 50 patentes solicitadas analisadas. Além disso, os insumos de processo aparecem com grande destaque e foram citados em 44 das 50 patentes solicitadas que integram a amostra analisada nesta dissertação. Na sequência aparecem as tecnologias de "Pós-Tratamento", em seguida as tecnologias de "Aproveitamento de Energia no Processo" de produção de amônia. Com 11 registros está a "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia", principalmente os fertilizantes nitrogenados produzidos a partir da amônia.

5.3.3 Análise Micro - Médio Prazo

Na análise micro foram exploradas as taxonomias mais frequentes encontradas na análise meso: "Insumos do Processo", "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia", "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese", "Aproveitamento de Energia no Processo" e "Pós-Tratamento".

"Insumos do Processo": conforme apresentado na Figura 72 em 61,8% ou em 34 das 50 patentes solicitadas analisadas aparecem as taxonomias "Catalisador com Propriedades de Redução e Oxidação" que representam o desenvolvimento de novos catalisadores. Todavia, os temas que mais aparecem são as formas de aplicar os tradicionais catalisadores para a produção de amônia a partir de gás de síntese ou para a partir de uma fonte de carbono obter o gás de síntese. Por isso aparecem logo na sequência e com grande destaque (dez citações dentre as 50 patentes solicitadas analisadas) os tipos de "Reator". Nas patentes solicitadas aparecem reatores adiabáticos de leito fixo, de fermentação, plasma e o emprego de um reator de algas. Com destaque (12,7%) ou sete citações, estão as "Fontes Renováveis de Energia para o Processo" e não menos importante, o emprego de "Membranas Permeáveis" com registros em 7,3% das patentes solicitadas analisadas. As membranas pesquisadas são permeáveis a oxigênio, hidrogênio ou nitrogênio e são aplicadas tanto na produção de gás de síntese que é uma tradicional matéria-prima da produção de amônia, quanto no processo de produção de amônia a partir de gás de síntese.

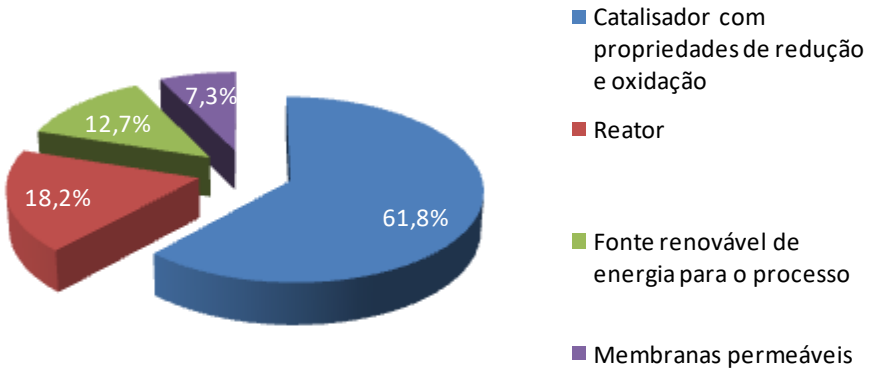


Figura 72. Análise micro - "Insumos do Processo" - percentual de cada taxonomia

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

"Aplicação e Produção de Produtos de Amônia": diferentemente do que será visto mais adiante nos artigos analisados a "Produção de Hidrogênio" por meio da decomposição de amônia não apareceu nenhuma vez dentre as citações como "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia" nas patentes solicitadas. De forma similar aos resultados apresentados na análise micro das patentes concedidas, a grande maioria das citações faz referência ao uso da amônia como matéria-prima para a produção de outros fertilizantes nitrogenados. Também aparece com menor destaque o "Uso da Amônia como Combustível". Os resultados são apresentados na Figura 73.

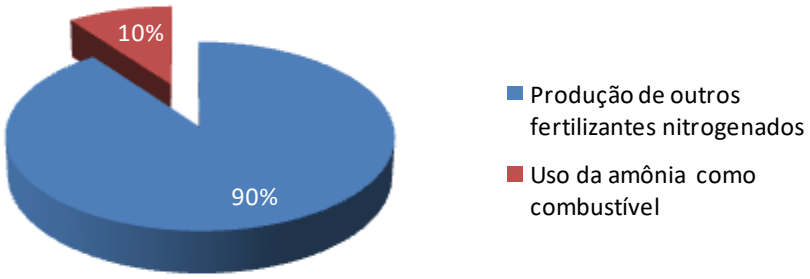


Figura 73. Análise micro - "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia" - percentual de cada taxonomia
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

"Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese": as taxonomias "Reação Catalítica Seletiva" apareceram em 29,9% das patentes solicitadas analisadas (43 citações), seguida do "Reciclo de Gases/Vapores" com 20,1% (29 citações), "Gás de Exaustão" (10,4%), "*Pressure-Swing-Adsorption (PSA)*" e "Reforma a Vapor de Hidrocarbonetos", (9,7%), "Síntese a partir de Ar e Água" (6,9%), "Reação de Substituição de Água por Gás" (6,3%), "Gaseificação e Síntese a partir de Biomassa" (4,2%) e "Reação de Oxidação Parcial" com 2,8% completam as taxonomias relacionadas à "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" que apareceram nas patentes solicitadas, conforme mostra a Figura 74.

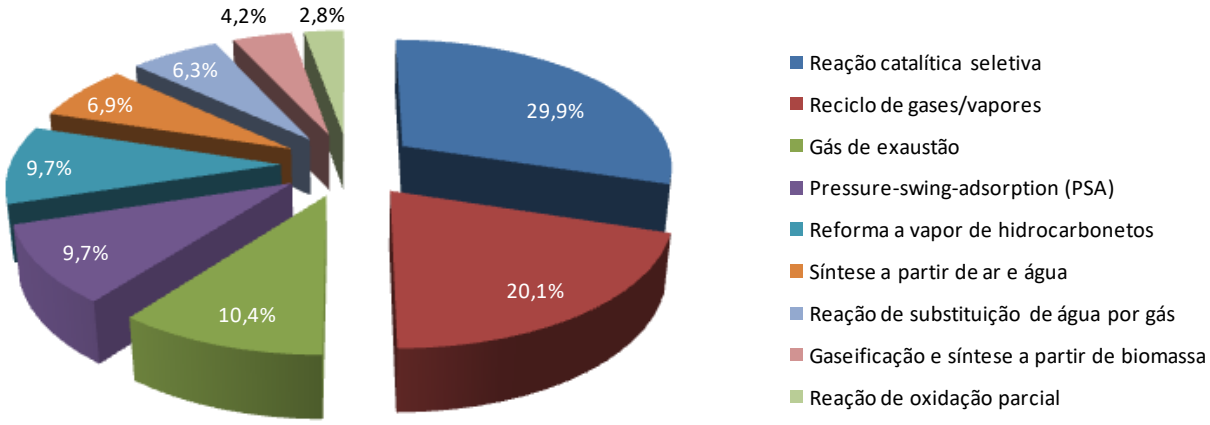


Figura 74. Análise micro - "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" - percentual de cada taxonomia
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

"Aproveitamento de Energia no Processo": das 50 patentes solicitadas analisadas em 3 delas aparece a "Integração de Processos" e dessa forma se busca o "Aproveitamento de Energia no Processo" de produção de amônia.

"Pós-Tratamento": em 27,4% das registros nas patentes solicitadas estão registradas a "Separação Gás-Líquido e Condensação" com 17 citações. Em segundo lugar com 16 registros está a "Purificação de Gases", seguida da "Remoção de CO_2" (17,7%), "Separação Criogênica" (16,1%) e a "Metanação de Óxidos de Carbono" (12,9%) aparecendo em 8 das 50 patentes solicitadas como mostra a Figura 75.

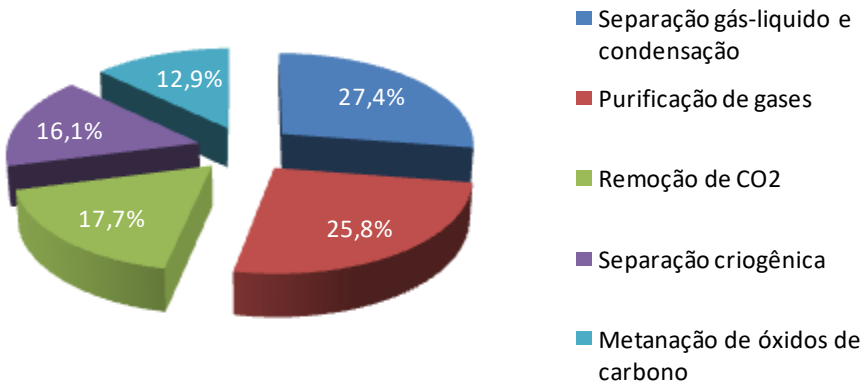


Figura 75. Análise micro - "Pós-Tratamento" - percentual de cada taxonomia
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de USPTO (2016).

5.4 Longo Prazo - Busca em Artigos Científicos

5.4.1 Análise Macro - Longo Prazo

Conforme indicado anteriormente, a análise macro leva em consideração o ano da publicação, continentes e países que mais contribuíram para a pesquisa relacionados à produção de amônia, bem como autores e instituições responsáveis pelas pesquisas nessa área. A pesquisa foi feita de acordo com a metodologia e critérios descritos anteriormente.

A primeira análise é a evolução da produção científica em número de artigos publicados por ano, como mostra a Figura 76. É possível observar que no período analisado de 2013 a abril/2016, o ano de 2014 foi o que apresentou o maior número de artigos publicados. No ano de 2016 a pesquisa leva em conta somente os 4 primeiros meses do ano, portanto se o cenário de 2016 seguir a tendência, deve chegar próximo do número de 2014. As ordens de grandeza nos anos de 2013 e 2015 foram aproximadamente as mesmas.

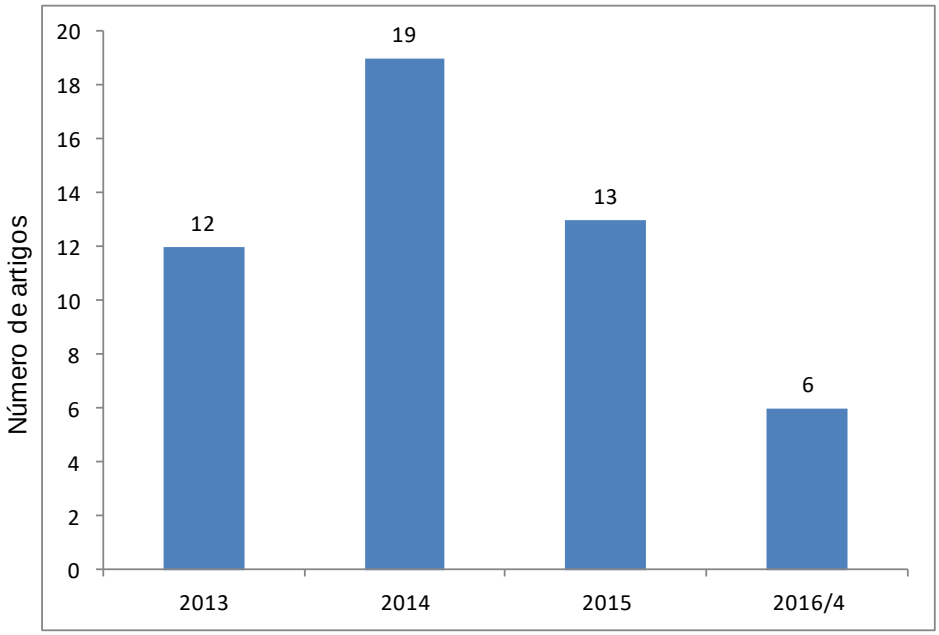


Figura 76. Artigos publicados por ano - 2013 a 2016/4

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

Na Figura 77 estão representados os continentes cujas instituições responsáveis pelas publicações dos artigos estão localizadas. Os artigos são publicados muitas vezes em parceria entre universidades de mais de um continente e/ou países em um mesmo continente, por isso, o número de instituições excede o

total de 50. Observa-se que diferentemente dos resultados apresentados anteriormente para as patentes concedidas e solicitadas, a Ásia é o continente que mais possui instituições dedicadas às pesquisas relacionadas à produção de amônia. Em segundo lugar está a Europa, em terceiro, ainda com grande destaque vem a América do Norte, seguidos da África, América do Sul e Oceania.

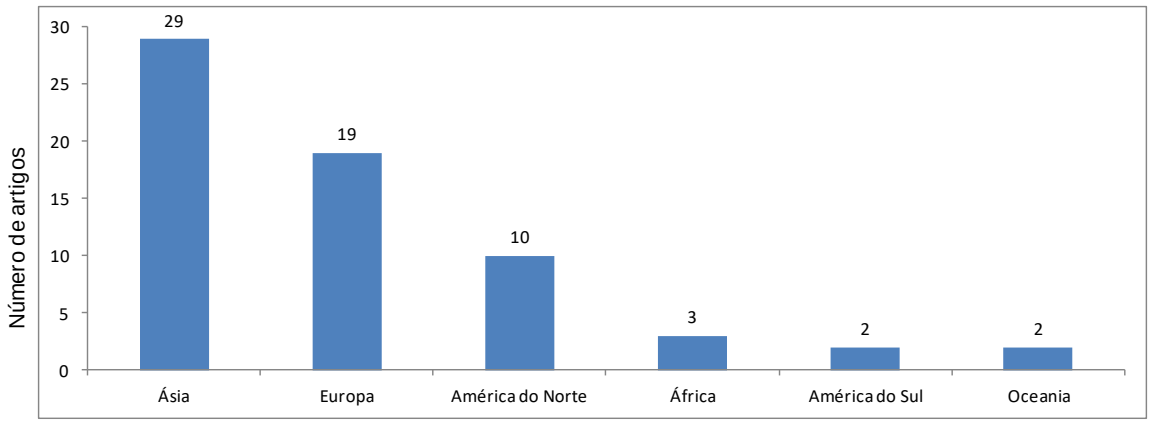


Figura 77. Localização das instituições que publicaram os artigos - por continente

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

É possível observar na Figura 78 que há países que são líderes continentais e mundiais nas publicações de artigos com o tema produção de amônia sendo que China e Japão predominam na Ásia, seguidos da Coréia do Sul. Na Europa lidera a Inglaterra, no entanto há participação importante de países como Suécia, Dinamarca, Alemanha e Itália. Na América do Norte o destaque são os Estados Unidos. Na África aparecem África do Sul e Algéria, já na América do Sul o destaque é para o Brasil e a Argentina e na Oceania para a Austrália.

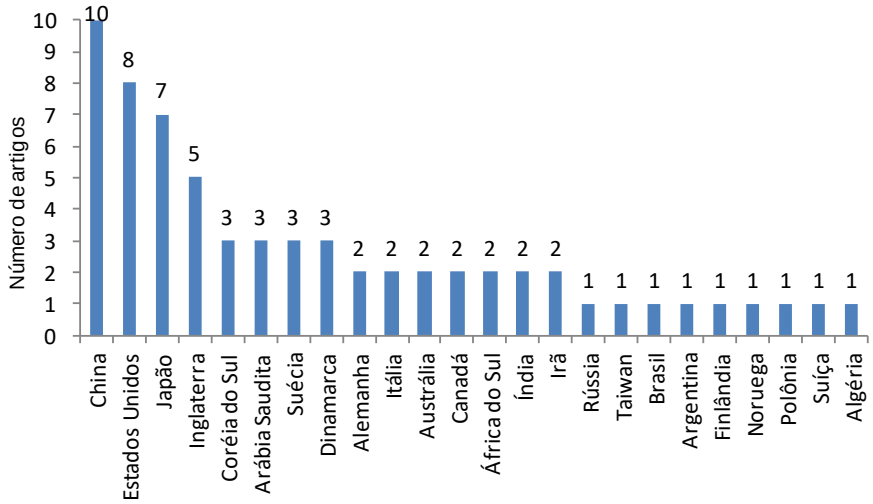


Figura 78. *Ranking* dos países que mais apareceram na base de artigos pesquisados

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

A China (dez) é destaque mundial ao ser o país com maior número de instituições com artigos científicos publicados que fazem parte desta dissertação. Os Estados Unidos (oito) é o segundo país que mais aparece na base de artigos pesquisados, seguidos de Japão (sete), Inglaterra (cinco), de um grupo de quatro países que aparecem com três artigos publicados, sete países aparecem com duas e outros nova países aparecem com uma.

Na Figura 79 são apresentados os autores que mais apareceram na base de artigos pesquisados nesta dissertação. Com três registros o destaque vai para um grupo de três pesquisadores, além de outros nove que apareceram duas vezes.

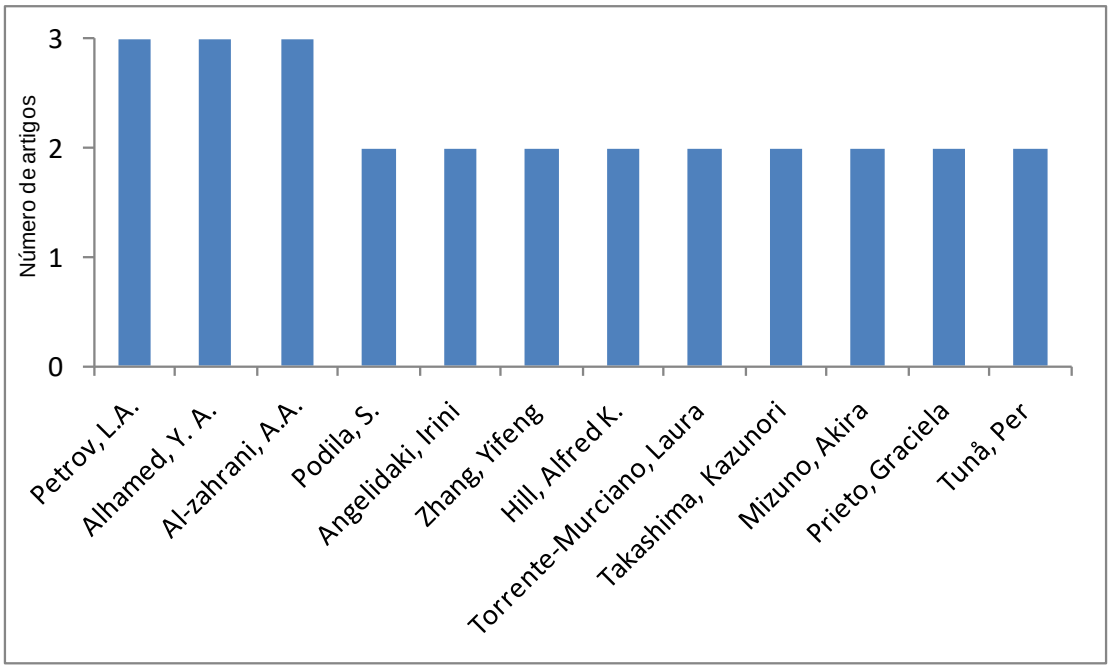


Figura 79. Autores que mais apareceram na base de artigos pesquisados

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

Ao analisar a base de artigos pesquisados com relação ao tipo de instituição envolvida na sua publicação como mostra a Figura 80 é possível ver que a grande maioria foi publicada por universidades com 79% do total. É importante destacar também a participação de institutos de pesquisa que representam 12% do total seguidos de centros de pesquisas com 5% e de uma empresa, uma agência governamental e uma cooperativa de agricultores.

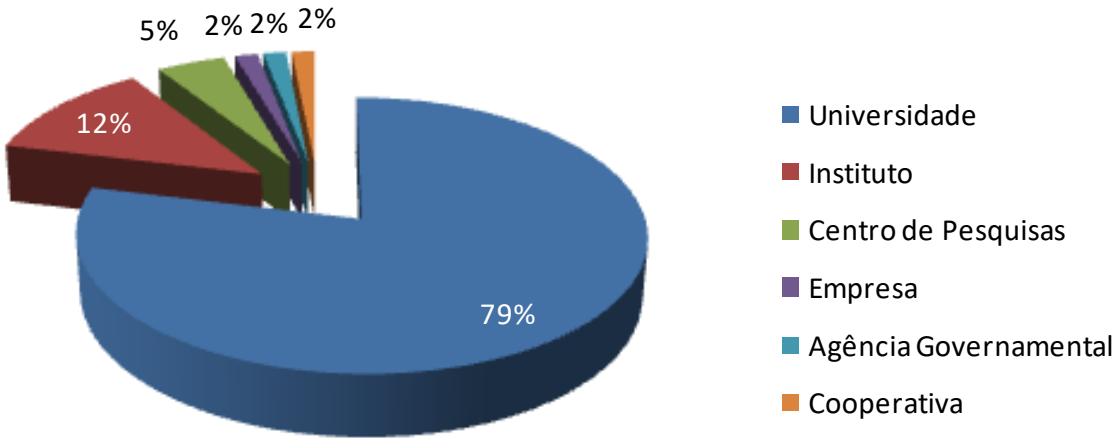


Figura 80. Tipos de instituição que mais apareceram na base de artigos pesquisados

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

Nesse levantamento das instituições que participaram da base de artigos pesquisados cuja representação está na Figura 81 é possível observar uma diversidade grande de instituições, além de uma grande quantidade de artigos publicados em parceria entre elas, o que elevou o número de instituições participantes da base de artigos científicos utilizados nesta dissertação. O destaque vai para a *King Abdulaziz University* com três registros. Com duas publicações associadas à elas aparecem: *Technical University of Denmark*, *University of Bath, Università degli Studi di Trento* e *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).* As demais instituições aparecem uma vez.

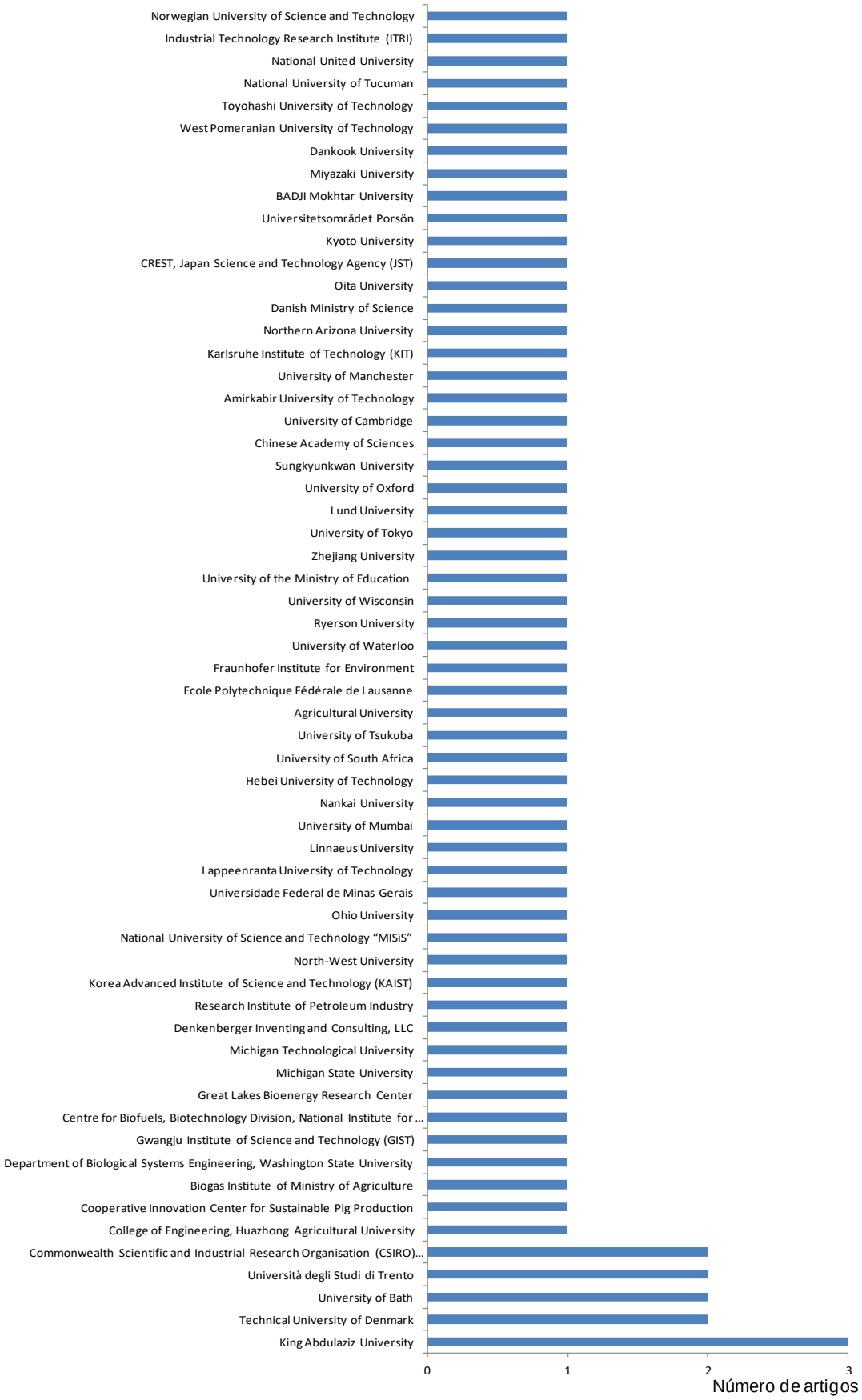


Figura 81. Instituições que apareceram na base de artigos pesquisados

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

5.4.2 Análise Meso - Longo Prazo

Na análise meso, as taxonomias apresentadas anteriormente são contabilizadas em número de registros em cada um dos artigos. Normalmente há mais de uma taxonomia em cada artigo. A Figura 82 representa as taxonomias que mais relevância tiveram na análise dos artigos e ao aparecer mais vezes é possível indicar que essas são linhas de pesquisa relacionadas à produção de amônia que tem tido mais produção científica no mundo.

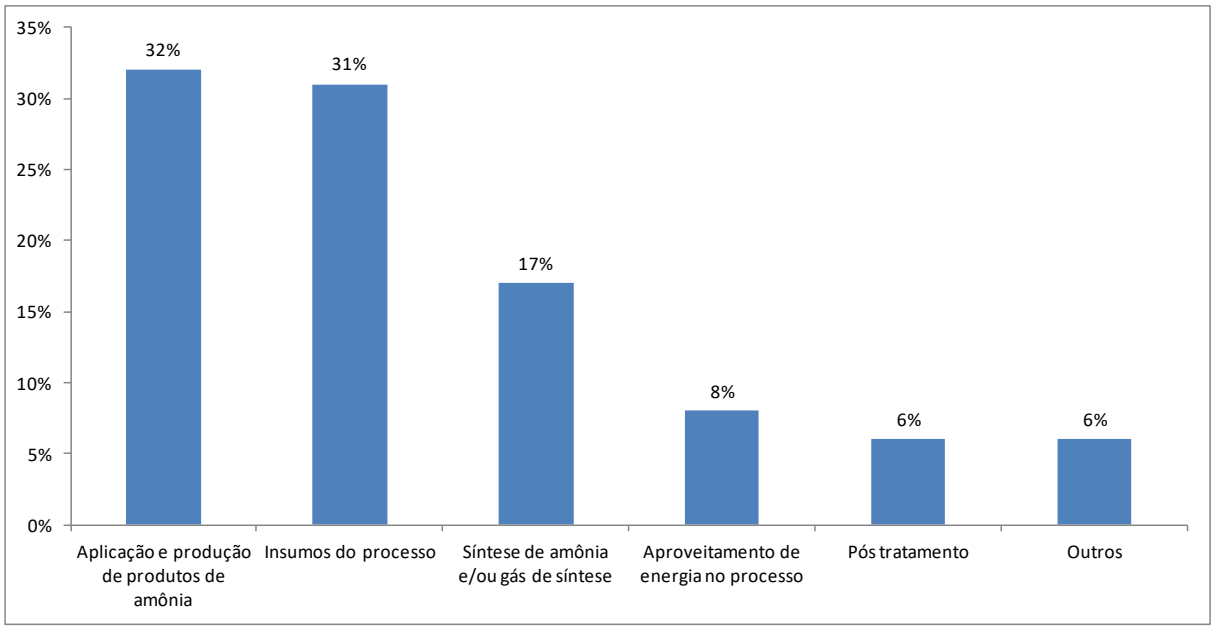


Figura 82. Número de registros das taxonomias nos artigos analisados

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

As pesquisas relacionadas à "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia", seguida das relacionadas aos "Insumos do Processo" são as que atualmente têm maior representatividade na área de produção de amônia aparecendo 32 e 31 vezes respectivamente dentre os 50 artigos analisados. A amônia é tradicionalmente um intermediário na produção de outros fertilizantes nitrogenados e por isso a produção de produtos de amônia têm bastante relevância. No entanto, ao analisar os artigos foi a "Produção de Hidrogênio" por diferentes rotas que apareceu em 32 artigos. As pesquisas que aparecem com mais destaque dentre os artigos científicos são as relacionadas à "Produção de Hidrogênio" sendo a amônia a matéria-prima. A "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" apareceu 17 vezes sendo essas pesquisas oriundas do método tradicional de produção de amônia a partir de gás de

síntese, no entanto as técnicas para obtenção do gás de síntese como matéria-prima, bem como suas diferentes fontes são bastante citados, bem como novos métodos de sintetizar a amônia em processos que podem utilizar gás de síntese ou não como matéria-prima. A taxonomia: "Aproveitamento de Energia no Processo" aparece também com destaque em oito artigos, já que a produção de amônia requer muita energia. Estratégias que possam reduzir o consumo energético ou mesmo buscar novas fontes de energia - como as renováveis - são de suma importância. A aplicação da amônia apareceu sete vezes relacionada ao "Pré-Tratamento de Biomassa". As tecnologias de "Pós-Tratamento" da amônia ao longo do seu processo produtivo também merecem destaque, com seis registros já que busca-se sintetizar um produto que tenha um grau de pureza viável e dentro das especificações requeridas na sua aplicação. Os pontos identificados e apresentados na taxonomia: "Outros" estão relacionados aos diversos estudos feitos em plantas existentes.

5.4.3 Análise Micro - Longo Prazo

Na análise micro foram exploradas as taxonomias mais frequentes encontradas na análise meso: "Insumos do Processo", "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia", "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese", "Aproveitamento de Energia no Processo" e "Pós-Tratamento".

"Insumos do Processo": conforme apresentado na Figura 83 em 77% das registros nos artigos classificados como "Insumos do Processo" as taxonomias estavam relacionadas ao desenvolvimento de catalisadores: "Catalisador com Propriedades de Redução e Oxidação".

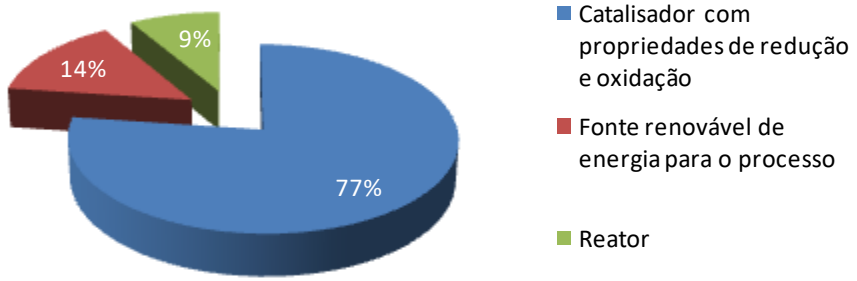


Figura 83. Análise micro - "Insumos do Processo" - percentual de cada taxonomia

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

Nos artigos analisados a grande maioria das novas pesquisas científicas não buscava um catalisador para aumentar a eficiência da produção de amônia mas a sua decomposição, bem como do borano de amônia para a "Produção de Hidrogênio". Por isso, decidiu-se apresentar na Figura 84 os tipos de catalisador e as formas de aplicação que mais se destacaram dentre os artigos analisados.

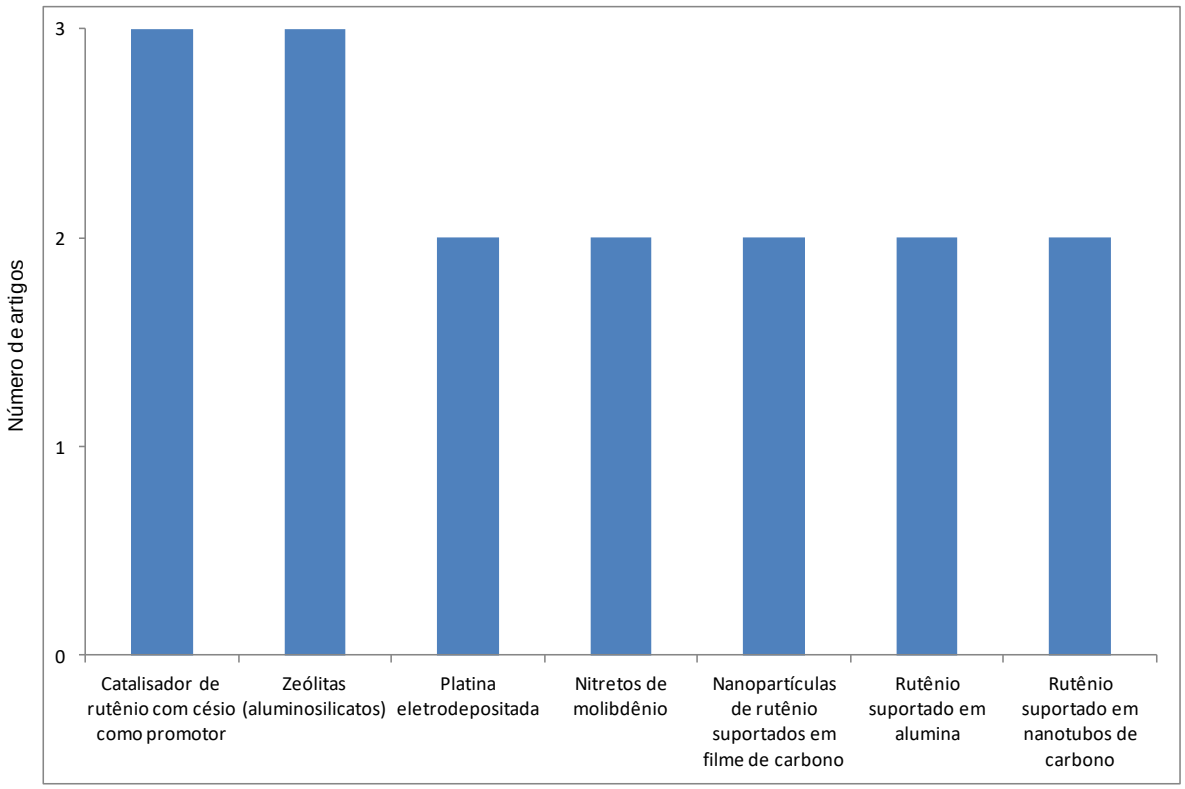


Figura 84. Catalisadores e sua aplicação que apareceram na análise dos artigos
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

Os catalisadores a base de rutênio (Ru) são amplamente aplicados na decomposição de amônia para a "Produção de Hidrogênio" com destaque para as pesquisas atuais que utilizam o Césio (Cs) como promotor e tem apresentado bons resultados. Os catalisadores tradicionais como as zeólitas e de platina (Pt) também são utilizados, mas tem sido menos empregados pelo seu custo elevado e pela escassez desses materiais/compostos. No caso das zeólitas, as sintéticas são as mais empregadas. Destacam-se também os nitretos de molibdênio, bem como o rutênio suportado em nanomateriais e alumina (FERNANDES, 2013).

Na Tabela 8 é apresentada uma lista de todos os catalisadores citados nos artigos analisados e as suas diversas formas de aplicação.

Tabela 8. Catalisadores citados nos artigos analisados e sua forma de aplicação

Catalisador de rutênio com césio como promotor
Nanopartículas de rutênio suportados em filme de carbono
Rutênio suportado em alumina
Rutênio suportado em nanotubos de carbono
Microemissor revestido com rutênio
Microcanais revestidos com rutênio
Nanopartículas de rutênio
Rutênio impregnado em partículas de carbono
Níquel
Nitreto de níquel
Níquel suportado em nanofios de carbono
Nanopartículas de níquel encapsuladas em óxido de silício
Níquel suportado em nanotubos de carbono
Níquel suportado em zeólita
Níquel suportado em nanofibras de carbono
Cobalto suportado em óxidos de magnésio
Ferro e cobalto fundidos
Cobalto e cobre
Cobalto e cromo
Cobalto e vanádio
Cobalto e molibdênio
Nitretos de molibdênio
Nanocluster de molibdênio
Óxidos de vanádio suportados em dióxido de titânio
Óxidos de tungstênio suportados em dióxido de titânio
Nanofios de compósitos de titânio
Nanofios de compósitos de paládio
Zeólitas (aluminosilicatos)
Platina eletrodepositada
Biofilme de microrganismos

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

O Rutênio aparece por várias vezes nas pesquisas que também têm sido feitas com relação aos seus respectivos suportes, com destaque para os nanomateriais (nanotubos, nanofios, nanofibras e nanopartículas). Esses suportes têm sido utilizados com outros metais/catalisadores ou para tornar mais eficiente a

atuação do catalisador. Níquel (Ni), Cobalto (Co) e Ferro (Fe) aparecem por diversas vezes e têm sido escolhidos como alternativas de baixo custo para substituir Paládio (Pd), Pt e Ru (FERNANDES, 2013). O Molibdênio também aparece com destaque além dos tradicionais compostos de Titânio (Ti) que podem ser catalisador ou suporte, da mesma forma que as zeólitas.

Ainda com relação aos "Insumos do Processo", em segundo lugar, com registros em 14% dos artigos analisados aparece a "Fonte Renovável de Energia para o Processo". São fontes de geração de energia solar, eólica e nuclear aplicadas como insumo da produção de amônia visando substituir as fontes utilizadas atualmente, já que o seu processo de produção é intensivo em consumo de energia.

Em 9% estão presentes os diferentes tipos de "Reatores" pesquisados nos artigos analisados, com destaque para o uso dos reatores de plasma no processo de produção de amônia.

"Aplicação e Produção de Produtos de Amônia": a "Produção de Hidrogênio" é o grande destaque entre os artigos analisados. Em 60% das registros as tecnologias pesquisadas seguiram a rota de produção por meio da decomposição da amônia. Em 13% dos artigos, a "Produção de Hidrogênio" foi via hidrólise do borano de amônia e em outros 7% a "Rota Bioeletroquímica" foi pesquisada. Dos 50 artigos analisados em seis aparecem taxonomias relacionadas ao uso da amônia para o "Pré-Tratamento de Biomassa" como mostra a Figura 85.

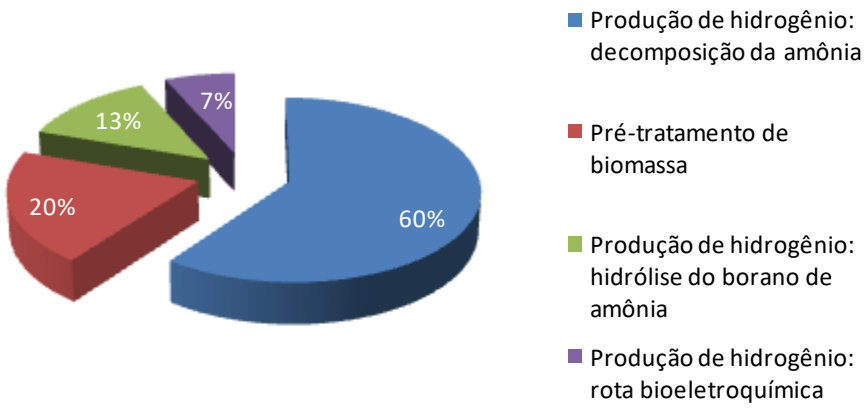


Figura 85. Análise micro - "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia" - percentual de cada taxonomia
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

"Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese": as taxonomias "Reação Catalítica Seletiva" apareceram em 56% dos artigos analisados, seguida da "Gaseificação e Síntese a partir de Biomassa" (13%) utilizada principalmente para produzir o gás de síntese, matéria-prima da produção de amônia. Vale destacar a separação da amônia de correntes de "Gases de Exaustão" que aparece em 8% dos artigos como uma forma de produzir amônia, da mesma forma que a "Rota de Produção Eletroquímica". Como etapas da síntese de amônia aparecem também a rota de "Produção de Hidrogênio" a partir de água por eletrólise (6%) e o "Reciclo de Gases/Vapores" (4%). Outro tema relevante e que apareceu em 4% dos artigos foi a "Síntese de Amônia a partir de Ar e Água" conforme indica a Figura 86.

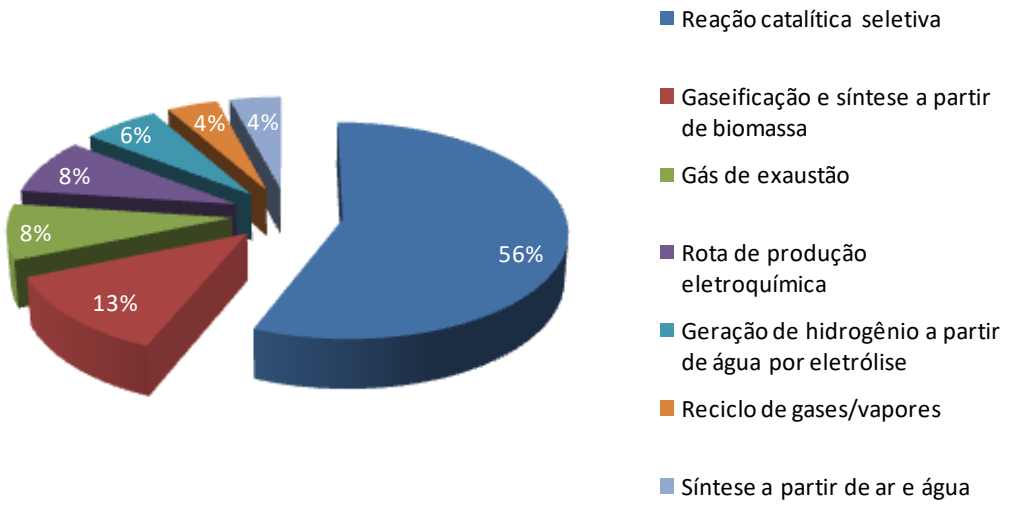


Figura 86. Análise micro - "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" - percentual de cada taxonomia
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

"Aproveitamento de Energia no Processo": dos 50 artigos analisados em sete aparecem taxonomias relacionadas à "Integração de Processos" e dessa forma se busca o aproveitamento de energia.

"Pós-Tratamento": em 57% das registros estão registradas a "Remoção de CO_2" como destaque já que é uma área não só relacionada à produção de amônia, mas que faz parte do processo de "Pós-Tratamento" da amônia. Há pesquisas também relacionadas à "Purificação de Gases", normalmente quando se busca obter amônia de alta pureza. Além disso, aparecem pesquisas relacionadas ao processo de "Separação Criogênica" que é amplamente utilizado nos processos de produção de gases industriais conforme mostra a Figura 87.

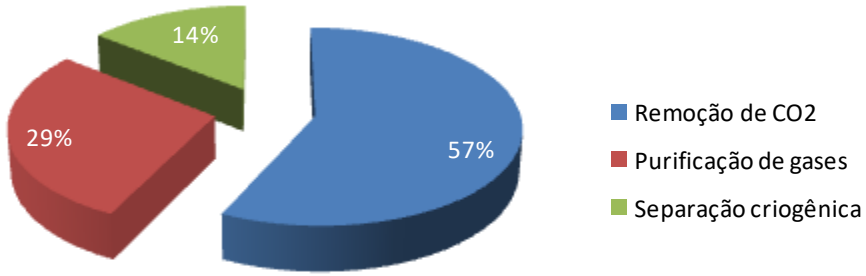


Figura 87. Análise micro - "Pós-Tratamento" - percentual de cada taxonomia

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de *Scopus* (2016).

Outros: como citado anteriormente, em seis dos 50 artigos analisados aparecem estudos feitos em unidades existentes com os objetivos: reduzir a corrosão em equipamentos, análise de ciclo de vida do produto e avaliação da eficiência energética e do impacto ambiental da produção de amônia. Esses são todos temas que possuem relevância para a produção de amônia, mas foram agrupados como "Outros" porque aparecem de forma pontual ao longo da análise dos artigos. São temas e tecnologias a serem aplicados nas unidades existentes e portanto foram abordados no tempo zero ou seja, no estágio atual de aplicação da tecnologia. No entanto, como apareceram nos artigos científicos são apresentados neste item pois fazem parte da análise micro dos artigos científicos analisados.

No próximo capítulo serão abordados os aspectos sobre a construção do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia e apresentados os resultados obtidos a partir dessa construção feita com base nas taxonomias descritas em cada um dos documentos analisados.

6. CONSTRUÇÃO DO *ROADMAP*

A elaboração do *RoadMap* foi realizada conforme metodologia descrita no Capítulo 4 e a informação foi organizada em uma linha do tempo com diferentes espaços temporais. O mapa tecnológico foi dividido em faixas (eixo horizontal) e colunas (eixo vertical). No eixo horizontal é apresentada a divisão de tempo utilizada, descrita a seguir:

Tempo Zero ou Estágio atual: são tecnologias com potencial de serem aplicadas nas plantas existentes. O estágio atual foi representado por meio das tecnologias empregadas nos empreendimentos construídos nos últimos 10 anos, além daqueles que apareceram nos artigos científicos que tinham potencial para aplicação imediata ou foram estudos feitos em plantas existentes.

Curto Prazo: são apresentados os *players* que estarão atuando em um cenário de curto prazo, horizonte de 0 a 5 anos aproximadamente. A informação apresentada nessa seção do *RoadMap* foi obtida nas patentes concedidas.

Médio Prazo: são apresentados os *players* que estarão atuando em um cenário de médio prazo, horizonte de 5 a 10 anos aproximadamente. A informação apresentada nessa seção do *RoadMap* foi obtida nas patentes solicitadas.

Longo Prazo: são apresentados os *players* que estarão atuando em um cenário de longo prazo, horizonte de mais de 10 anos aproximadamente. A informação apresentada nessa seção do *RoadMap* foi obtida nos artigos científicos.

O eixo vertical foi dividido em três seções que correspondem ao mercado, ao produto e à tecnologia. As taxonomias que subdividem essas seções são: "Insumos do Processo", "Aplicação e Produção de Produtos da Amônia", "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese", "Pós-Tratamento" e "Aproveitamento de Energia no Processo".

"Insumos do Processo": contém os principais insumos, materiais e equipamentos utilizados no processo. As subdivisões dessa taxonomia foram: "Catalisador com Propriedades de Redução e Oxidação", "Reator", "Fonte Renovável de Energia para o Processo" e "Membrana Permeável".

A Figura 88 mostra um recorte da taxonomia "Insumos do Processo" e suas subdivisões:

Figura 88. *RoadMap* tecnológico - "Insumos do Processo"

Fonte: Elaboração própria (2016).

"Aplicação e Produção de Produtos da Amônia": contém as principais aplicações encontradas, bem como a utilização da amônia como matéria-prima para a produção de outros produtos. As subdivisões dessa taxonomia foram: "Produção de Hidrogênio", "Produção de Outros Fertilizantes Nitrogenados", "Pré-Tratamento de Biomassa" e "Uso da Amônia como Combustível".

A Figura 89 mostra um recorte da taxonomia "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia" e suas subdivisões:

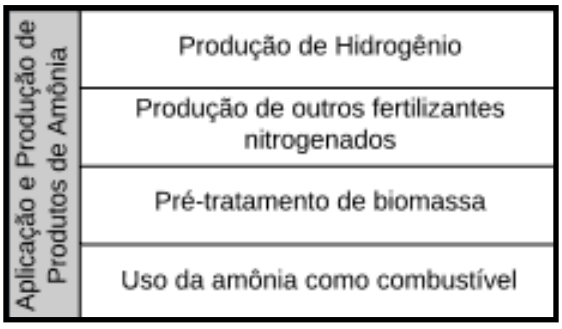


Figura 89. *RoadMap* tecnológico - "Aplicação e Produção de Produtos de Amônia"

Fonte: Elaboração própria (2016).

"Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese": contém os processos mais utilizados e pesquisados, bem como processos relacionados à síntese da amônia ou da sua principal matéria-prima, o gás de síntese. As subdivisões dessa taxonomia foram: "Reforma a Vapor de Hidrocarbonetos", "Gaseificação e Síntese a partir de Biomassa", "Reação de Substituição de Água por Gás", "Reciclo de Gases/Vapores", "Síntese a partir de Ar e Água", "*Pressure-Swing-Adsorption (PSA)"*, "Gás de Exaustão", "Reação Catalítica Seletiva", "Rota de Produção Eletroquímica", "Reação de Oxidação Parcial" e a "Reforma Secundária com Injeção de Ar".

A Figura 90 mostra um recorte da taxonomia "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese" e suas subdivisões:

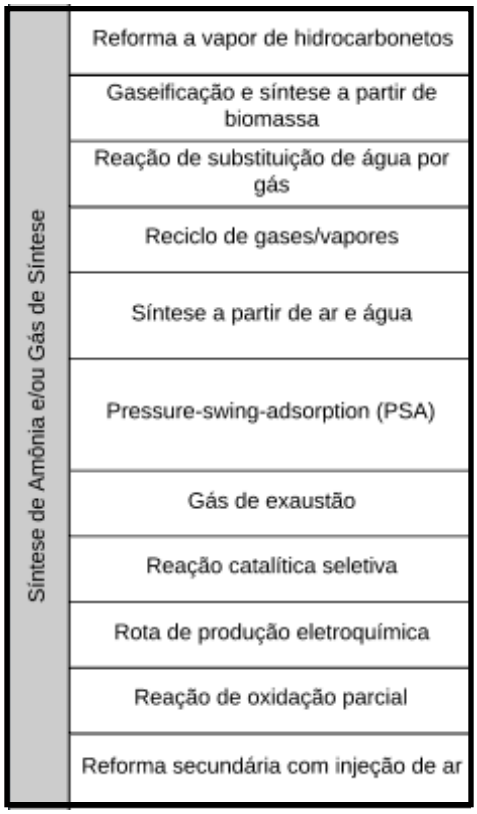


Figura 90. *RoadMap* tecnológico - "Síntese de Amônia e/ou Gás de Síntese"

Fonte: Elaboração própria (2016).

"Pós-Tratamento": contém as principais tecnologias de "Pós-Tratamento" da amônia ao longo do seu processo produtivo. As subdivisões dessa taxonomia foram: "Purificação de Gases", "Separação Criogênica", "Remoção de CO_2", "Separação Gás-Líquido e Condensação" e "Metanação de Óxidos de Carbono".

A Figura 91 mostra um recorte da taxonomia "Pós-Tratamento" e suas subdivisões:

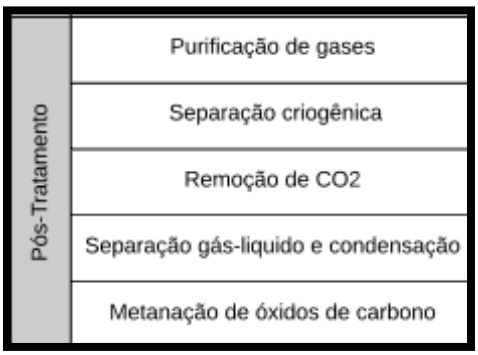


Figura 91. *RoadMap* tecnológico - "Pós-Tratamento"

Fonte: Elaboração própria (2016).

"Aproveitamento de Energia no Processo": contém as principais iniciativas de aproveitamento de energia, já que a produção de amônia é um processo intensivo no consumo de energia e o aproveitamento dela dentro do processo pode viabilizar a produção que não seria viável sem esse melhor aproveitamento energético. As subdivisões dessa taxonomia foram: "Integração de Processos" e "Co-Produção de Amônia e Metanol".

A Figura 92 mostra um recorte da taxonomia "Aproveitamento de Energia no Processo" e suas subdivisões:

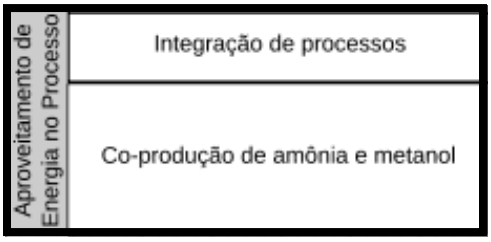


Figura 92. *RoadMap* tecnológico - "Aproveitamento de Energia no Processo"
Fonte: Elaboração própria (2016).

Em cada coluna, os logotipos dos *players* foram posicionados de acordo com o espaço temporal identificado. Foi feita então a ligação da instituição com sua respectiva área de pesquisa. Esta conexão se deu por meio da utilização das setas que saem do logo da instituição e alcançam a área delimitada com as taxonomias descritas anteriormente. Cabe ressaltar a existência de *clusters* formados por meio de tendências tecnológicas semelhantes e/ou parcerias.

A Figura 93 apresenta o *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia completo, contendo as divisões temporais mencionadas no eixo horizontal e as taxonomias no eixo vertical. Para facilitar a visualização foi disponibilizado no Apêndice A a imagem do *RoadMap* em formato A3.

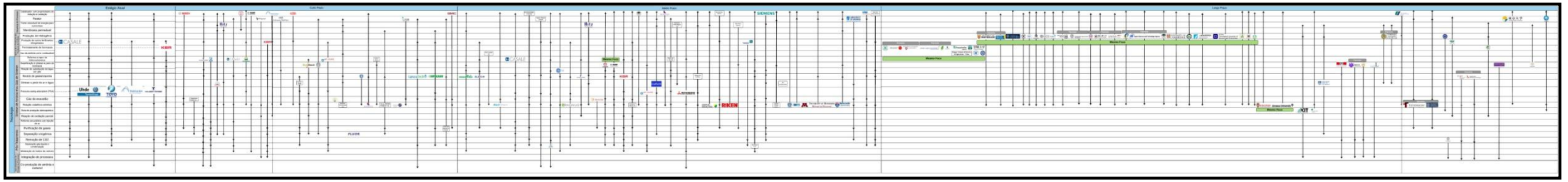


Figura 93. *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia

Fonte: Elaboração própria (2016).

6.1 Tempo Zero ou Estágio atual

Antes de apresentar os resultados do tempo zero ou estágio atual, serão apresentadas informações sobre as principais detentoras de tecnologia que apareceram nesse estudo:

CASALE <www.casale.ch>: A história da CASALE é a da *Ammonia Casale* empresa fundada em 1921 pelo Dr. Luigi Casale que estabeleceu suas bases na Suíça e que atualmente é uma empresa global. O que fez com que o Dr. Luigi Casale iniciasse a *Ammonia Casale* foram as inovações incrementais propostas por ele no processo de produção de amônia com a simplificação de reatores, tornando mais simples a substituição do catalisador e prolongando a sua vida útil. Indicadores da própria companhia indicam que desde 1985 mais de 57 plantas de produção de amônia foram construídas com base no processo desenvolvido pela empresa e que 259 passaram por revitalizações com base na consultoria técnica do grupo CASALE.

UHDE <www.uhde-hpt.com>: A companhia foi fundada em 1930 por Friedrich Uhde com o objetivo de fabricar equipamentos resistentes a alta pressão para a síntese da amônia. Sua matriz está na Alemanha embora seja uma empresa global cujas exportações representam 95% do faturamento da empresa. Até os dias de hoje segue comercializando equipamentos e tecnologia para a produção de fertilizantes.

TOYO <www.toyo-eng.com>: A Toyo Engenharia é uma empresa de tecnologia japonesa que se especializou em realizar projetos de engenharia e desenvolver tecnologia na área de fertilizantes. Atualmente, possui mais de 10.000 colaboradores e escritórios em 17 países, inclusive no Brasil. Os projetos da área de fertilizantes são implantados pela sua unidade da Índia há mais de 3 décadas. Atuam não somente fornecendo tecnologia de produção de amônia, mas em todas as etapas da implantação de empreendimentos desse setor.

STAMICARBON <www.stamicarbon.com>: A Stamicarbon é uma empresa desenvolvedora de tecnologia na área de fertilizantes, líder mundial no licenciamento

de tecnologia para a produção de ureia. Mais de 240 plantas de produção de fertilizantes já foram implantadas com base na tecnologia licenciada pela Stamicarbon. Atua também na revitalização de plantas de produção de fertilizantes e fornece consultoria para a operação e manutenção de plantas existentes. A companhia foi fundada em 1947 e seu escritório central fica na Holanda.

HALDOR TOPSOE <www.topsoe.com>: É uma empresa global com sede na Dinamarca fundada pelo Dr. Haldor Topsoe. É líder mundial na tecnologia de catalisadores que atendem não somente a indústria de produção de amônia. Com relação à amônia, possui mais de 70 anos de experiência nesse setor colabora para a produção desse produto de forma mais eficiente energeticamente. Promove revitalizações em plantas existentes e licencia tecnologia para plantas que produzem amônia com a co-produção de outros produtos como metanol e ureia.

KBR <www.kbr.com>: A KBR é uma empresa global que emprega mais de 25.800 colaboradores, opera em mais de 40 países, cuja sede fica nos EUA e atua em tecnologia, engenharia, compras e construção. Possui tecnologia proprietária para a produção de amônia e outros fertilizantes e as licencia desde a década de 60. Também atua na revitalização de plantas de produção de amônia e possui tecnologias proprietárias para cada etapa da produção de amônia.

Na sequência serão apresentados os resultados com relação às pesquisas feitas em mídias especializadas e apresentados levantamentos com base nos últimos empreendimentos instalados no mundo para indicar o estágio atual da tecnologia, bem como os principais *players* que dominam o mercado atualmente. Foram levantadas informações detalhadas sobre os *players* que apareceram como detentores de tecnologia no estágio atual por meio de buscas nos seus respectivos *websites* e brochuras que descreviam as tecnologias que cada um era detentor, levando em consideração as taxonomias utilizadas na elaboração do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia. Os resultados encontrados são apresentados na Figura 94.

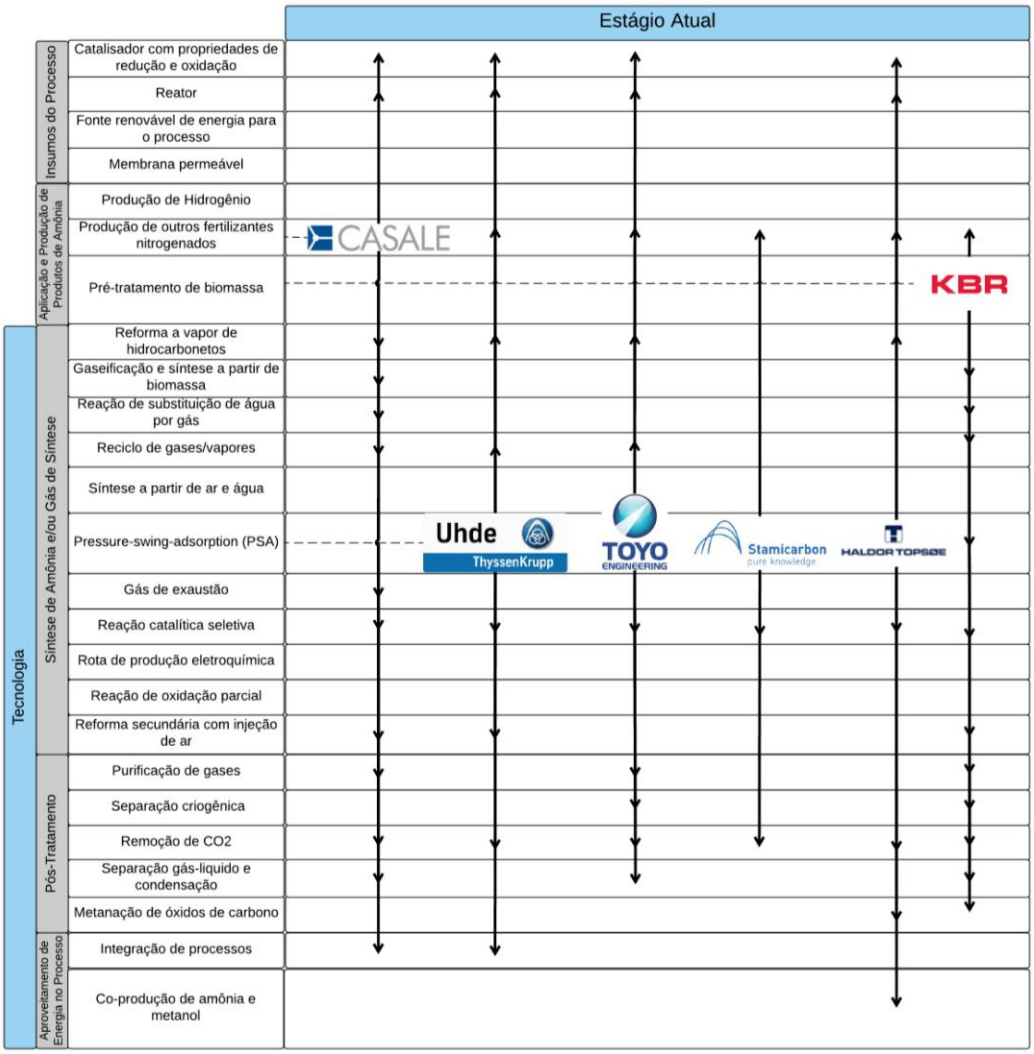


Figura 94. *RoadMap* tecnológico - Tempo Zero ou Estágio Atual

Fonte: Elaboração própria (2016).

6.2 Curto Prazo

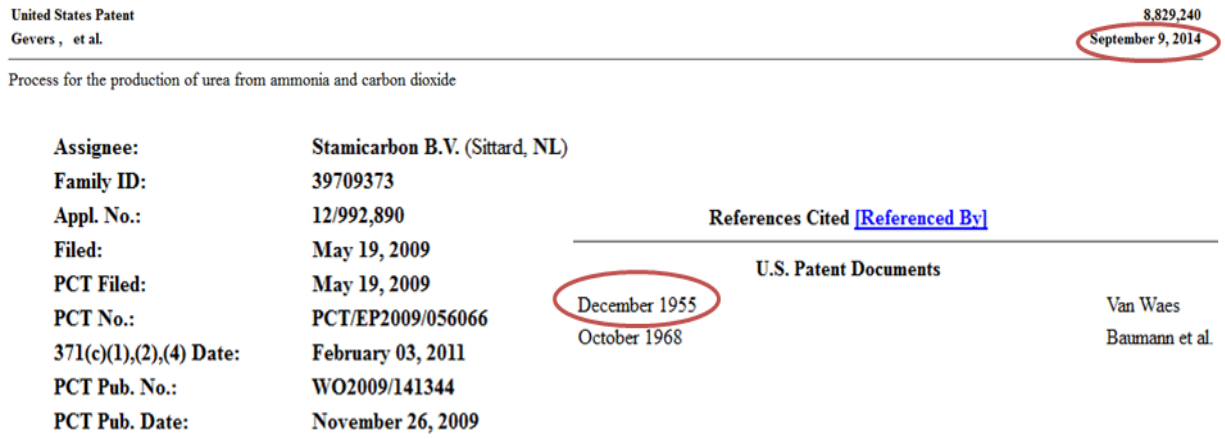
Na Figura 98 estão representados os resultados de Curto Prazo do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia. São apresentados os *players* que apareceram na análise das patentes concedidas e portanto com tempo estimado de aplicação entre 0 e 5 anos.

Para compreender os resultados apresentados na Figura 96 é importante analisar esse trecho da biografia de Carl Bosch publicada no *website* do prêmio nobel (www.nobelprize.org): "quando em 1908 o industrial da empresa *Baden Aniline and Soda Company* (BASF), Carl Bosch adquiriu um processo de síntese de amônia a alta pressão que foi desenvolvido pelo pesquisador Fritz Haber da *Technische Hochschule* em *Karlsruhe* na Alemanha. Bosch recebeu a tarefa de desenvolver esse processo em escala industrial, a qual envolvia a construção da planta e do

aparato para a produção que possibilitaria reações gasosas a altas pressões e temperaturas. O catalisador utilizado por Haber, a base de Ósmio e Urânio tinha que ser substituído por uma substância de contato que teria que ser barata e com grande disponibilidade. Bosch e seus colaboradores encontraram a solução utilizando ferro puro e aditivos. Problemas adicionais que tinham que ser resolvidos estavam na construção de fornos seguros operando a alta pressão e uma maneira barata para produzir e tratar os gases necessários ao longo da síntese da amônia. Ele encontrou soluções satisfatórias para todos esses temas e construiu uma série de plantas de produção de amônia. No entanto, essas unidades industriais de produção de amônia geraram uma grande disponibilidade desse produto químico no mercado mundial e como não se utilizava mais a amônia para fins bélicos e de produção de explosivos, buscou-se aplicação para o produto na indústria e na agricultura. Bosch desenvolveu métodos para a produção industrial de fertilizantes nitrogenados e forneceu esses produtos para praticamente todos os países do planeta em quantidades suficientes para os fins da agricultura. Bosch foi apontado como diretor geral em 1925 da *I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft* um conglomerado alemão que depois de extinto e de servir aos propósitos de guerra na segunda guerra mundial, deu origem a indústrias químicas alemãs que ainda hoje exercem papel de líderes mundiais na área de química, como a BASF, a Bayer, a Hoeschst e a Agfa. Bosch deixou a diretoria geral da *I.G. Farben* em 1935 e assumiu como membro do conselho administrativo da empresa. Faleceu em abril de 1940". Alguns aspectos relevantes da bibliografia de Carl Bosch e que se traduzem nos resultados apresentados na Figura 95 são os que desde o início da aplicação industrial desse processo de síntese de amônia exigiam-se pesquisa e atenção com os insumos de processo, com a aplicação e produção de produtos a partir da amônia, com aspectos tecnológicos da própria síntese de *Haber-Bosch* com o tratamento da matéria-prima e o pós-tratamento dos produtos, bem como o aproveitamento de energia, e a preocupação com aspectos ambientais e de segurança do processo. Todos esses itens seguem sendo pesquisados atualmente e têm gerado, desde a invenção da síntese de *Haber-Bosch* e a sua ampla utilização em escala industrial, inovações incrementais que poderão ser observadas tanto nos resultados de curto, como de médio prazo. As primeiras plantas de produção de amônia estabelecidas na Alemanha e utilizadas pela empresa BASF levaram a que empresas de engenharia,

construção e montagem desenvolvessem tecnologia para atender às necessidades desses empreendimentos. Da mesma forma, em outras partes da Europa e em outros países do mundo como nos Estados Unidos e no Japão, essa característica fez surgir as principais detentoras de tecnologia nesse setor. Como os processos requeriam a separação e o tratamento de gases, empresas especialistas nessa área também tornaram-se parceiras dos projetos e desenvolvedoras de tecnologia.

Desde então, estabeleceu-se um ciclo de inovação incremental baseado nas patentes originais solicitadas por essas desenvolvedoras de tecnologia. A Figura 95 extraída de uma das patentes utilizadas nesta dissertação e concedida à *Stamicarbon* exemplifica essa questão. Pode-se observar que a patente original é de 1955 e que por meio de inovações incrementais vem sendo renovada ao longo dos anos para garantir a propriedade intelectual à *Stamicarbon*. Da mesma forma, tradicionais detentores de tecnologia protegem os seus próprios desenvolvimentos tecnológicos nesse setor.



United States Patent
Gevers , et al.

8,829,240
September 9, 2014

Process for the production of urea from ammonia and carbon dioxide

Assignee:	Stamicarbon B.V. (Sittard, NL)
Family ID:	39709373
Appl. No.:	12/992,890
Filed:	May 19, 2009
PCT Filed:	May 19, 2009
PCT No.:	PCT/EP2009/056066
371(c)(1),(2),(4) Date:	February 03, 2011
PCT Pub. No.:	WO2009/141344
PCT Pub. Date:	November 26, 2009

References Cited [Referenced By]

U.S. Patent Documents

December 1955	Van Waes
October 1968	Baumann et al.

Figura 95. Patente concedida à *Stamicarbon*

Fonte: Elaboração própria com base na informação da USPTO (2016).

É interessante observar também que as empresas que investem nos ativos de produção de amônia e que posteriormente serão as donas e operadoras do empreendimento, sabendo disso, consideram no seu ciclo de implantação de projeto a etapa de seleção do conceito da planta conforme exemplifica a Figura 96 que segue a metodologia da empresa YARA, uma das maiores produtoras de fertilizantes do mundo (POTASHCORP, 2013). É possível entender que as detentoras de tecnologia disputam essa fase de seleção de conceito, já que seus negócios estão estabelecidos sobre as bases do desenvolvimento tecnológico nesse

setor, como na implantação dos empreendimentos e os investimentos (*CAPEX - Capital Expenditures*) são feitos por produtores de amônia como a empresa YARA e no Brasil a Petrobras (YARA, 2014).

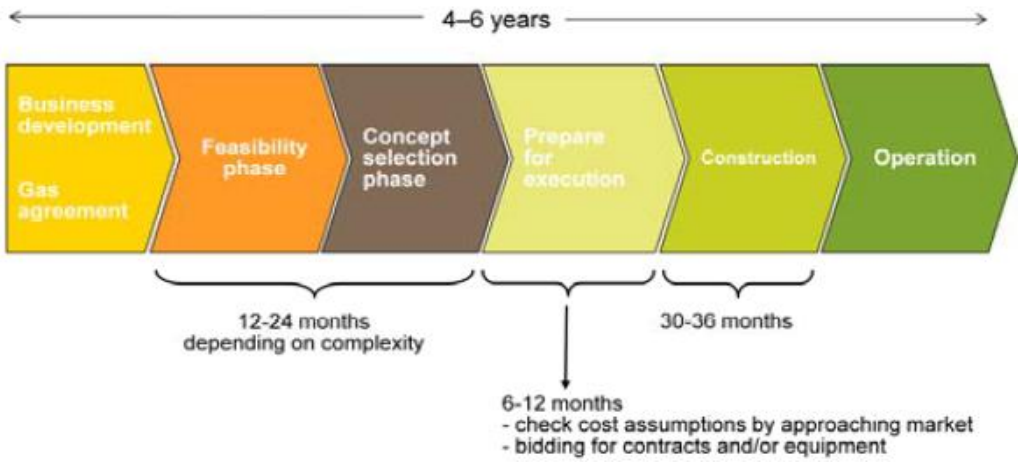


Figura 96. Ciclo de implantação de projeto da YARA

Fonte: YARA (2014).

É possível observar na Figura 98 que para os resultados de curto prazo, não há nenhuma empresa atuando em parceria, ou seja, em nenhuma das 50 patentes concedidas pesquisadas, há mais de uma empresa como detentora da tecnologia ou fazendo investimento conjunto para a pesquisa que gerou aquela inovação tecnológica. Se houvesse, a parceria estaria indicada com a palavra "Parceria" acima do logo dos *players*. Já quando há instituições com o mesmo foco de pesquisa, sendo parceiras ou não, haverá uma indicação em verde e as palavras "Mesmo Foco" no *RoadMap* como é exemplificado na Figura 97.

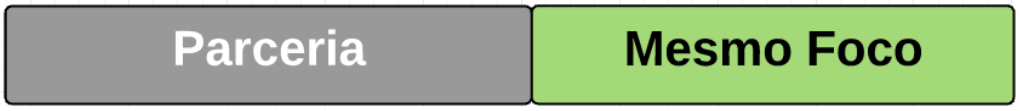


Figura 97. Exemplo de "Parceria" e "Mesmo Foco" indicados no *RoadMap*

Fonte: Elaboração própria (2016).

Em geral a taxonomia com maior destaque foi a "Reação Catalítica Seletiva", pesquisada por boa parte dos *players* e a corporação com a pesquisa mais abrangente, ou seja, que teve a maior quantidade de taxonomias pesquisadas foi a *Haldor Topsoe*. Embora nenhum *cluster* com o mesmo foco tenha sido formado, há

uma série de empresas com o mesmo foco de atuação pesquisando os mesmos temas.

Podem-se destacar as empresas que tradicionalmente são detentoras de tecnologia de produção de amônia e que estão aparecendo no horizonte temporal de curto prazo por meio da análise das patentes concedidas, são elas: *KBR, Casale, Toyo, Haldor Topsoe e Stamicarbon* as quais apresentam patentes com uma maior abrangência de temas se comparamos com as que não fazem parte desse grupo. Empresas relacionadas às detentoras de tecnologia e que têm foco na área de separação de gases e "Pós-Tratamento" que aparecem com patentes concedidas e possíveis aplicações da tecnologia no curto prazo são: *Praxair* e *Air Liquide.* Destaca-se também a presença da *Fluor* e *Hitachi Zosen* que são tradicionais empresas de engenharia e construção responsáveis pela implantação de empreendimentos.

Empresas como a *BASF*, *DuPont, Johnson Matthey* e Petrobras têm patentes concedidas em temas como a produção de outros fertilizantes a partir da amônia e "Reação Catalítica Seletiva", demonstrando que buscam conhecer mais sobre a tecnologia de produção de amônia, bem como aumentar o espectro de aplicação do produto para ganhar mais mercado com os produtos produzidos a partir da amônia.

É interessante observar a presença de grandes grupos ligados ao setor automobilístico como: *Toyota, GMC, Iplas e Bosch* cujo foco está principalmente nos "Gases de Exaustão" que possuem a amônia na sua corrente gasosa. Nessa área a Petrobras também possui tecnologia já que produz e comercializa o ARLA 32 que é um Agente Redutor Líquido Automotivo (ARLA) que é um produto químico que atua na redução de óxido de nitrogênio (NOx) emitido pelos gases de escape de veículos (PETROBRAS, 2016). Essas empresas também têm desenvolvimentos tecnológicos na área de "Reação Catalítica Seletiva", com o objetivo de aproveitar essas correntes gasosas.

As instituições acadêmicas que fazem parte do *RoadMap* no horizonte de tempo de curto prazo são*: Tokyo Institute of Technology, Louisiana Tech University, Leeland Standford Junior University, University of Minnesota* e as pesquisas são em temas diversos.

Aparecem empresas cujo objetivo é desenvolver tecnologia para comercializá-las, algumas delas são provenientes de instituições acadêmicas ou de

autores de pesquisas no setor que decidiram investir para desenvolver tecnologia na área de produção de amônia dentre elas estão: *McAllister Technologies LLC*, *Quantumsphere*, *Lanzatech, Syngest, Altmerge, GTLpetrol e Hunan HiEND Products Co..*

Há também autores independentes que possuem patentes concedidas, são eles: *Robert Jungerhans, Eliezer Halachmi Katchanov, Roger Gordon e Peter Bruce*.

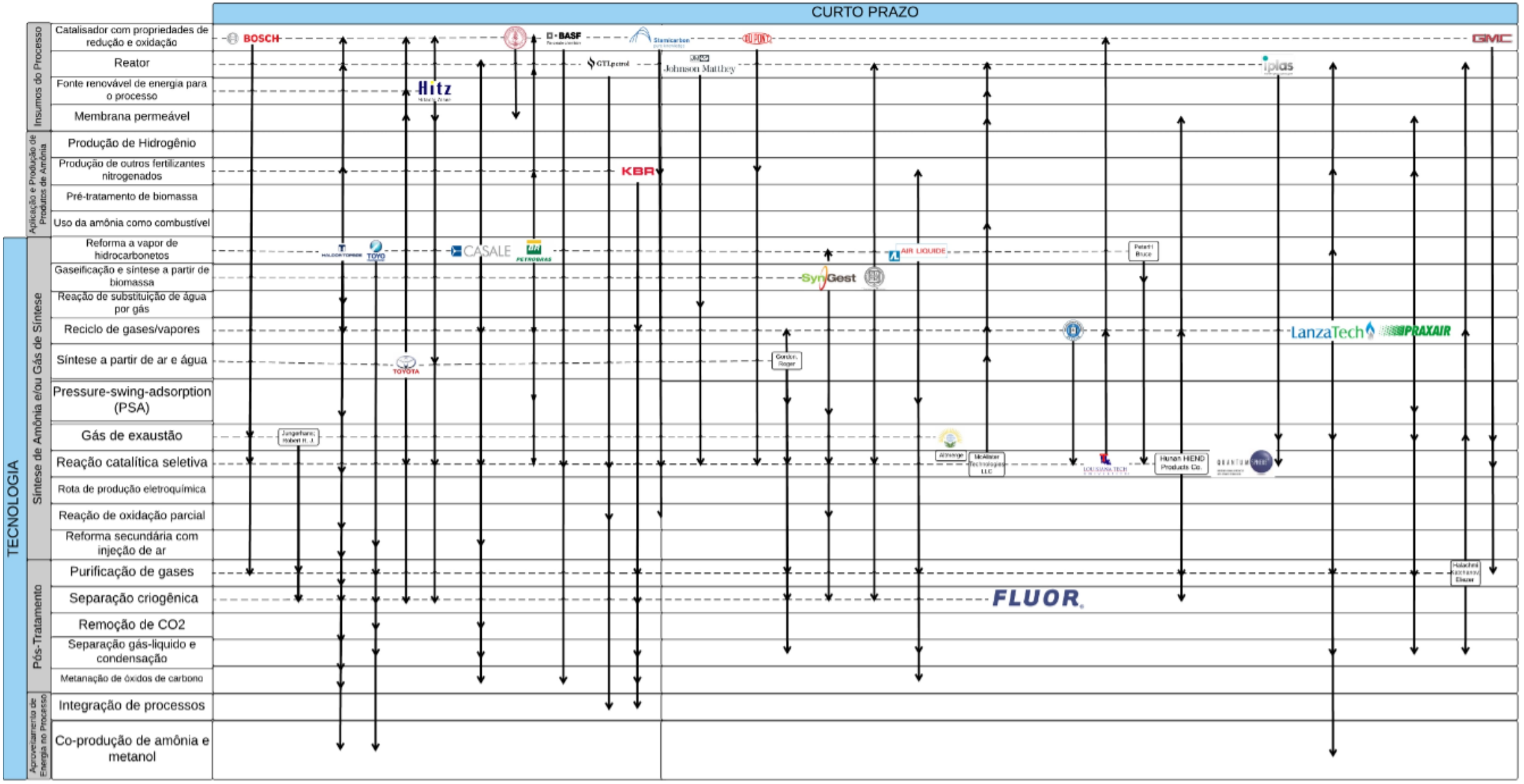


Figura 98. *RoadMap* tecnológico - Curto Prazo

Fonte: Elaboração própria (2016).

6.3 Médio Prazo

É possível observar na Figura 99 que para os resultados de médio prazo, ou seja, no horizonte de tempo de 5 a 10 anos, não há nenhuma empresa atuando em parceria, ou seja, em nenhuma das 50 patentes solicitadas pesquisadas, há mais de uma empresa como detentora da tecnologia ou fazendo investimento conjunto para a pesquisa que gerou aquela inovação tecnológica. Há no entanto, uma indicação em verde e as palavras "mesmo foco" no *RoadMap* que indica que aquelas empresas formam um *cluster* de mesmo foco às quais são: *BASF* e *JGC Corporation.*

As taxonomias com maior destaque foram: "Reação Catalítica Seletiva" e "Catalisador com Propriedades de Oxidação e Redução", pesquisadas por boa parte dos *players.* As corporações com a pesquisa mais abrangente, ou seja, que tiveram a maior quantidade de taxonomias pesquisadas foram as tradicionais desenvolvedoras de tecnologia nesse setor *KBR* e *Casale.* Um novo *player* que apresentou pesquisas em temas abrangentes e que pode representar nos próximos anos um importante papel na inovação nesse setor é a *Expander Energy Inc.*. Embora não tenha sido formado nenhum *cluster* com o mesmo foco, há uma série de empresas com o mesmo foco de atuação, pesquisando parcialmente os mesmos temas.

Podem-se destacar as empresas que tradicionalmente são detentoras de tecnologia de produção de amônia e que estão aparecendo no horizonte temporal de médio prazo por terem patentes solicitadas em seu nome, são elas: *KBR, Casale e Haldor Topsoe* que apareceram anteriormente no horizonte de curto prazo, além da *UOP* que não tinha nenhuma patente concedida dentre as pesquisadas para determinar o horizonte de curto prazo da aplicação da tecnologia. Os temas pesquisados por essas empresas são muito similares aos encontrados no curto prazo, por isso podem haver tecnologias classificadas como de implantação no médio prazo, mas que podem acontecer no curto prazo.

Apareceram novamente empresas relacionadas às detentoras de tecnologia e que têm foco na área de separação de gases e "Pós-Tratamento", as quais são: *Air Products e Air Liquide.* No entanto, diferentemente das pesquisas identificadas nas patentes concedidas as que aparecem nas patentes solicitadas são mais abrangentes e estão relacionadas também com a síntese de amônia. Destaca-se a presença da *Mitsubishi Heavy Industries*, da *JGC Corporation* e da *Hitachi Zosen*, sendo que essa última já

estava no horizonte temporal de curto prazo. Essas são tradicionais empresas de engenharia e construção responsáveis pela implantação de empreendimentos.

Empresas como a *BASF*, *Nippon Shokubai*, *Invista e Saudi Aramco* têm patentes solicitadas com um espectro mais abrangente que somente a produção de outros produtos a partir da amônia.

É interessante observar a presença de grandes grupos que desenvolvem pesquisas em diversas áreas e não só nas relacionadas à química como: *GE, Siemens e Alstom* três dos maiores conglomerados industriais do mundo.

As instituições acadêmicas que fazem parte do *RoadMap* no horizonte de tempo de médio prazo são*: Kyoto University, University of Ontario, Newcastle University, University of Iowa* e novamente o *Tokyo Institute of Technology,* a *Louisiana Tech University e a University of Minnesota*.

Aparecem empresas cujo objetivo é desenvolver tecnologia para comercializá-las posteriormente e há um grupo de novas empresas com pesquisas relevantes e abrangentes, dentre elas estão: *Livefuels*, *Grannus*, *Alzchem, Altor Limited LC,* Spawnt Private *S.a.r.l., Seerstone LLC e* novamente a *McAllister Technologies LLC.* Essas empresas apresentam patentes com uma maior abrangência de temas se comparamos com as desse mesmo grupo que apareceram no horizonte temporal de curto prazo.

Há também autores independentes que possuem patentes concedidas, são eles: *Bairamijamal Faramarz, William Clarke, Lari Bjerg Knudsen, Mabrouk Rachid, Norihiko Nakamura, Morton Orentlicher, Tai Chang-Hsien e Robert van den Berg*.

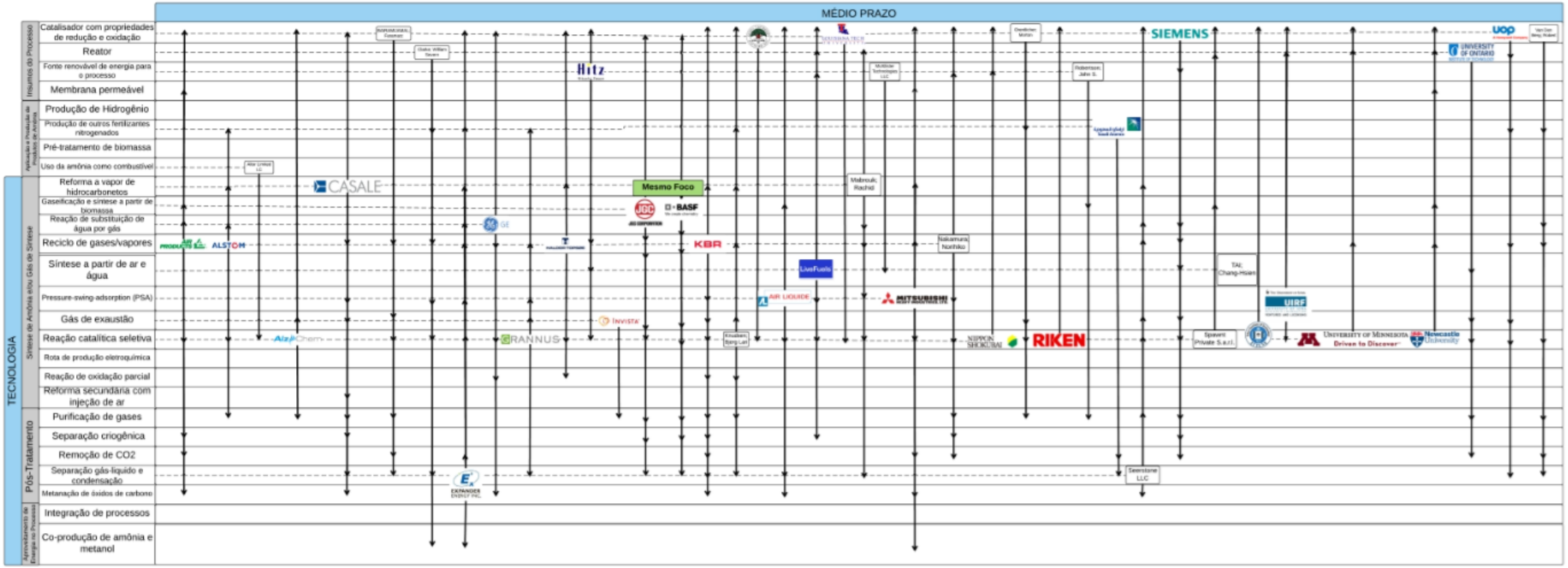


Figura 99. *RoadMap* tecnológico - Médio Prazo

Fonte: Elaboração própria (2016).

6.4 Longo Prazo

6.4.1 Clusters de mesmo foco

Nas Figuras 100, 101 e 102 estão representados os *players* que fazem parte do Longo Prazo do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia. São apresentados nesta seção somente os *players* que apareceram na análise dos artigos científicos e que formam parte em algum dos 3 *clusters* de mesmo foco identificados nas pesquisas com tempo estimado de aplicação entre 10 e 15 anos.

É interessante observar que os temas abordados nas análises de curto e de médio prazos não representam os que estão sendo abordados com prioridade pelos artigos científicos, a não ser a taxonomia: "Catalisador com Propriedades de Oxidação e Redução" e isso se deve ao fato do surgimento de novas tecnologias e materiais a serem explorados nesse tema especificamente. A nanotecnologia tem possibilitado inovações de ruptura com relação ao desenvolvimento de catalisadores e suportes para nanocatalisadores. Essa distinção entre os temas pesquisados nas patentes e artigos indica que a investigação no longo prazo prioriza a inovação de ruptura e a principal delas está relacionada ao uso da amônia no "Pré-Tratamento de Biomassa" em processos bioquímicos, além da principal inovação pesquisada dentre os artigos que fizeram parte desse estudo que é o aproveitamento da amônia como matéria-prima para a "Produção de Hidrogênio".

Nos resultados do horizonte temporal de longo prazo é possível identificar empresas e universidades com tendências distintas (as quais são apresentadas em separado na Figura 100), no entanto, nessa parte da apresentação dos resultados (Figuras 97 - *Cluster 1*, 98 - *Cluster* 2 e 99 - *Cluster* 3) o foco foi identificar as parcerias e apresentar a formação de *clusters* por meio dos quais é possível encontrar instituições que apresentam investimentos em pesquisas com o mesmo foco. Sendo parceiras ou não, essas instituições pesquisam sobre os mesmos temas. Assim, podem ser observadas as tendências seguidas pelas instituições e quais grupos de instituições estão participando das pesquisas que podem gerar inovações de ruptura ou incrementais que vão se tornar realidade no longo prazo. Nessa seção do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia aparecem 3 importantes *clusters* de mesmo foco formados em torno das taxonomias:

1. Taxonomia: "Pré-Tratamento de Biomassa";

- Instituições:

- Parceria 1: *Huazhong Agricultural University*, *Ministry of Agriculture of China, Washington State University;*
- Parceria 2: *Great Lakes BioEnergy Research Center e Michigan State University;*
- *Fraunhofer Institut, Biogas Institute of Ministry of Agriculture - China, University of Miyazaki, Dankook Universtity e Council for Scientific and Industrial Research - Índia.*

2. Taxonomias: "Catalisador com Propriedades de Redução e Oxidação", "Produção de Hidrogênio" e "Reação Catalítica Seletiva".

- Instituições:
  - Parceria 1: *University of Waterloo e Ryerson University;*
  - Parceria 2: *University of Mumbai e Universitá degli Studi di Trento;*
  - Parceria 3: *Nankai University, Hebei University of Technology e University of South Africa;*
  - Parceria 4: *Oita University, Japan Science and Technology Agency e Kyoto University.*
  - *University of Oxford, Zhejiang University, Korea Advanced Institute of Science and Technology, North-West University - South Africa, University of Bath, National University of Science and Technology - Russia, University of Cambridge, National United University - Taiwan, Industrial Research Technology Institute - Taiwan, Norwegian University of Science and Technology, King Abdulaziz University, Gwangju Institute of Science and Technology e Ministry of Education - China.*

3. Taxonomia: "Reação Catalítica Seletiva" e "Catalisador com Propriedades de Oxidação e Redução".

- Instituições:
  - *University of Wisconsin - Madison e Linnaeus University.*

Essas são instituições cujos logos estão representados nas Figuras 98 e 99 com a identificação do *cluster* de mesmo foco sendo formado, bem como as parcerias que fazem parte desses *clusters.*

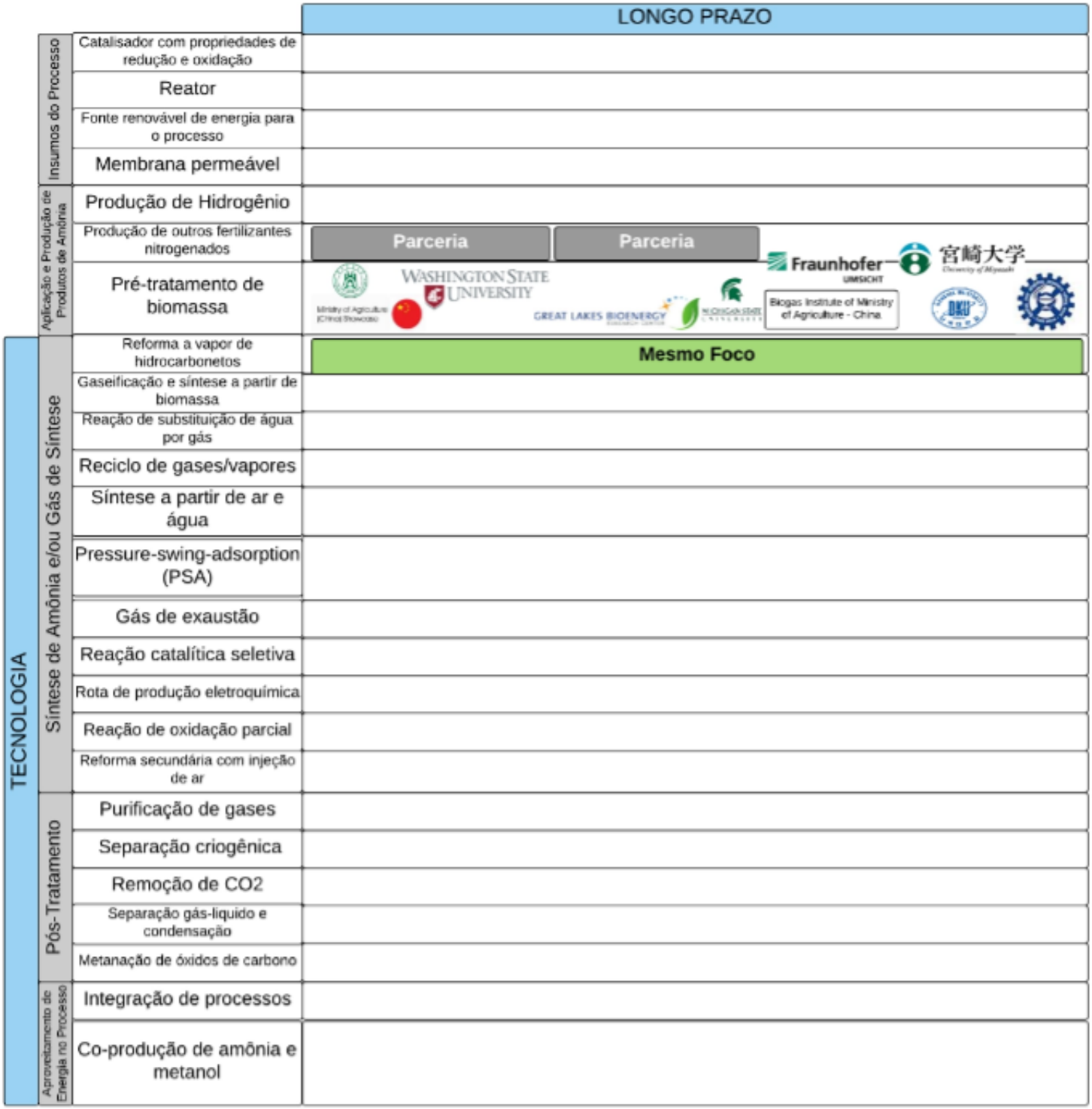


Figura 100. *RoadMap* tecnológico - Longo Prazo - *Cluster 1* - Mesmo Foco

Fonte: Elaboração própria (2016).

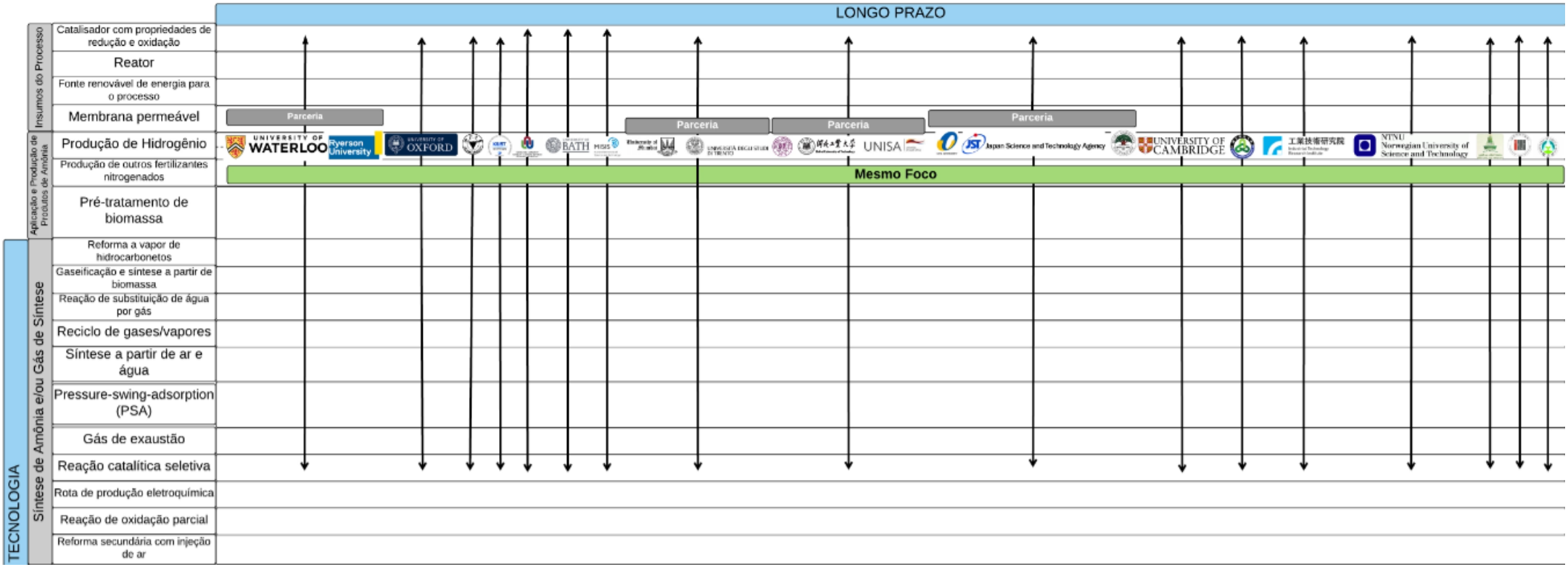


Figura 101. *RoadMap* tecnológico - Longo Prazo - *Cluster 2* - Mesmo Foco

Fonte: Elaboração própria (2016).

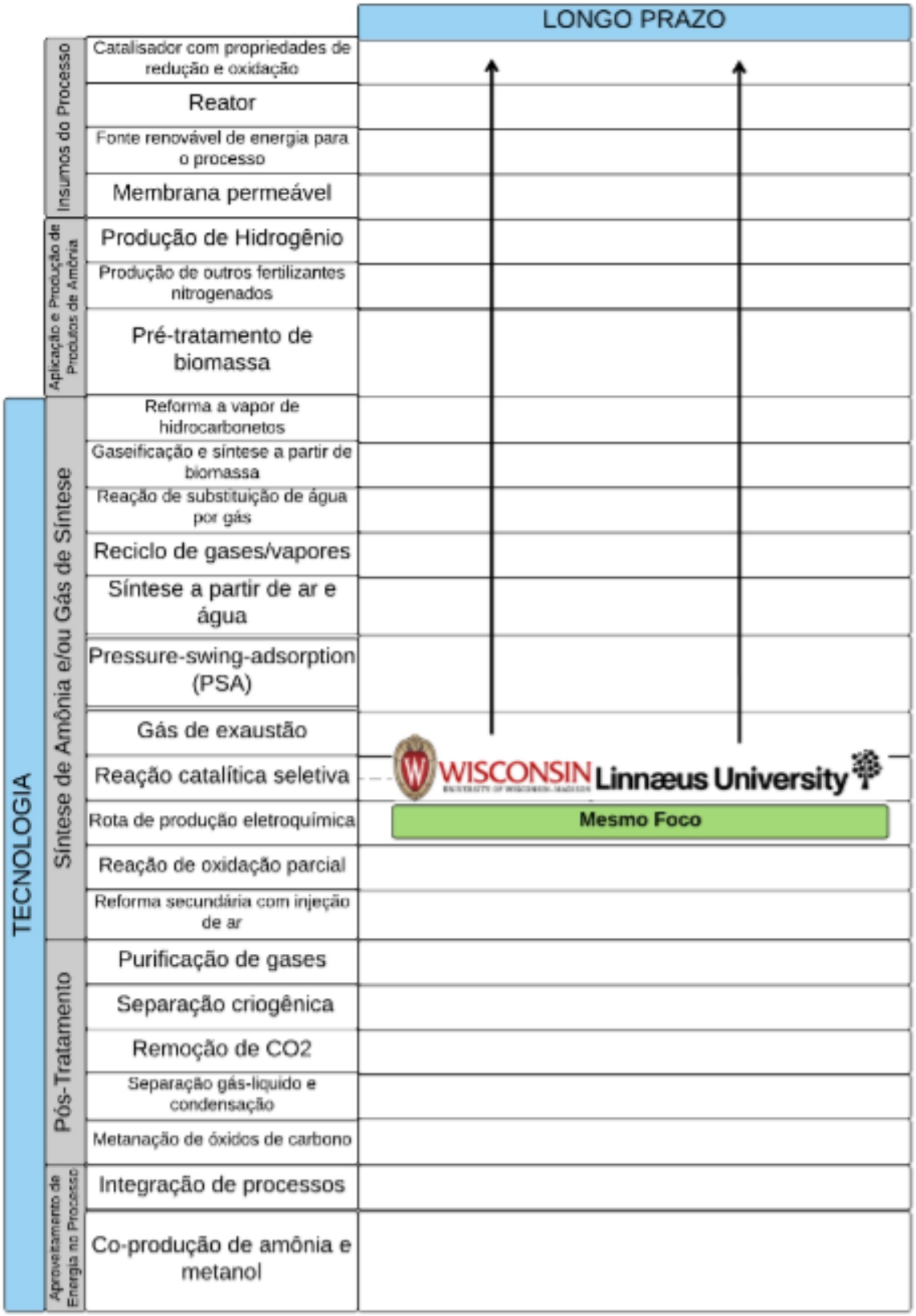


Figura 102. *RoadMap* tecnológico - Longo Prazo - *Cluster 3* - Mesmo Foco

Fonte: Elaboração própria (2016).

6.4.2 *Players* que não faziam parte dos *clusters* de mesmo foco

Nesta seção do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia representada na Figura 103, são apresentados os *players* que fazem parte do horizonte de tempo de longo prazo e que não faziam parte dos *clusters* de mesmo foco identificados anteriormente. São principalmente universidades que se dedicaram à publicação de artigos na área de produção de amônia e que da mesma forma que os apresentados anteriormente devem ter sua aplicação em um horizonte temporal de 10 a 15 anos.

Destacam-se inicialmente as parcerias entre a *University of Tsukuba* e a *China Agricultural University* com pesquisas na área de "Gaseificação e Síntese de Amônia a partir de Biomassa", "Remoção de CO_2" e "Integração de Processos". Outra parceria interessante é entre a *Michigan Technological University* e a empresa com foco em inovação, *Denkenberger Inventing and Consulting LLC* com temas de pesquisa que podem provocar inovação de ruptura quando se trata da produção de amônia e hidrogênio, os quais são: "Síntese a partir de Ar e Água", "Fonte Renovável de Energia para o Processo" e a "Produção de Hidrogênio". Outra parceria apresentada é entre a *Universidad Nacional de Tucumán* na Argentina e a *Toyohashi University of Technology* do Japão. A parceria entre a brasileira Universidade Federal de Minas Gerais e a *Lappeenranta University of Technology* da Finlândia indica a vontade do Brasil de atuar em temas de comum interesse com outras nações desenvolvidas do planeta. Tanto Argentina quanto Brasil apareceram em parcerias com essa mesma característica e com pesquisas focadas em temas que podem ser considerados de inovação incremental, quando comparados à "Produção de Hidrogênio" a partir da amônia.

A área de "Integração de Processos" tem um destaque especial já que diversas instituições desenvolvem pesquisa com esse mesmo tema, as quais são: *Karlsruhe Institute of Technology* da Alemanha*, École Polytechnique Fédérale de Lausanne* da Suíça, *Lulea University of Technology* da Suécia, *Amirkabir University of Technology* do Irã, *The University of Manchester* da Inglaterra e as parcerias citadas anteriormente entre a *University of Tsukuba do Japão* e a *China Agricultural University* além da parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais e a *Lappeenranta University of Technology* da Finlândia.

Além dessas instituições citadas anteriormente, aparecem no horizonte temporal de longo prazo no *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia as seguintes instituições: *Danish Agency for Science Technology and Innovation* - Dinamarca, *Northern*

Arizona Universtity e *Ohio University* dos Estados Unidos, *West Pomeranian University of Technology* da Polônia, *Chinese Academy of Sciences* - China, *Sungkyunkwan University* da Coréia do Sul, *The University of Tokyo* do Japão e o *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (*CSIRO*).

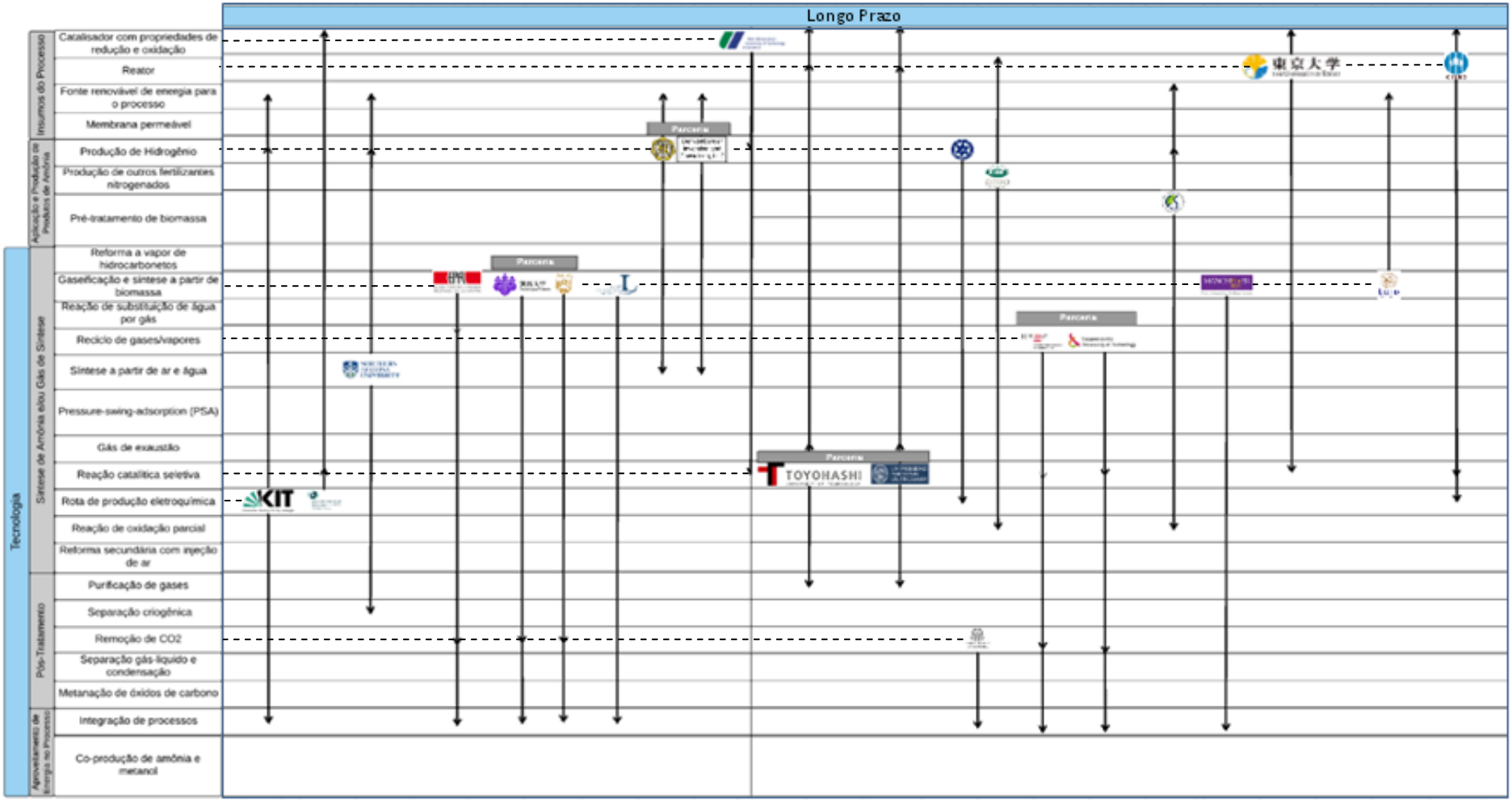


Figura 103. *RoadMap* tecnológico - Longo Prazo

Fonte: Elaboração própria (2016)

Legenda:

Karlsruher Institut für Technologie

Michigan Technological University

Danish Agency for Science Technology and Innovation

West Pomeranian University of Technology In Szczecin

Northern Arizona University

Universidad Nacional de Tucumán

École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Chinese Academy of Sciences

University of Tsukuba

Sungkyunkwan University

China Agricultural University

AmirKabir University of Technology

No próximo capítulo serão feitas observações oriundas da análise pós-*RoadMap*, ou seja, já posicionados todos os *players* de acordo com as taxonomias estabelecidas, podem-se extrair informações relevantes para o planejamento estratégico sobre os *players* participantes do estudo e efetivamente tomar o *RoadMap* para a produção de amônia como uma ferramenta para apoio à tomada de decisão.

7 ANÁLISE PÓS-*ROADMAP* TECNOLÓGICO

Com o objetivo de obter dados relevantes que integrem a dinâmica entre Mercado, Produto e Tecnologia, essa seção será dedicada a encontrar relações significativas entre as empresas e seus mercados, aliando sua estrutura, comportamento e desempenho por meio da análise dos resultados obtidos a partir do *RoadMap* tecnológico.

Essa etapa visa mapear as similaridades entre as atividades das empresas e as de seus competidores com relação à inovação, bem como os temas comuns entre os competidores e identificar possíveis redes que conectam as instituições que aparecem no *RoadMap* tecnológico. Essa análise é chamada de análise vertical e será feita com base no comportamento dos *players* nas faixas temporais específicas para o RoadMap desenvolvido neste estudo.

7.1 Análise Vertical - Estágio Atual e Curto Prazo

Ao cruzar a informação sobre os empreendimentos implantados nos últimos 10 anos e os *players* que aparecem classificados no *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia como estágio atual, com os resultados de curto prazo do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, observa-se uma relação direta entre as empresas cuja tecnologia foi empregada nos empreendimentos e as que possuem inovações patenteadas por meio de patentes concedidas.

Empresas como *KBR, Toyo, Haldor Topsoe e Stamicarbon* aparecem tanto no estágio atual quanto no curto prazo. Essas são tradicionais detentoras de tecnologia na área de produção de amônia e cada uma busca, por meio do investimento em inovação, garantir características únicas a sua respectiva tecnologia para manter a competitividade em um mercado que tem um legado de projetos existentes e requer investimentos em novos projetos. Na fase de seleção de tecnologia é quando essas empresas irão competir e quem apresentar a tecnologia mais consistente e que agregue mais valor ao dono do empreendimento será o vencedor. A *Air Liquide* é outra empresa que aparece tanto no estágio atual quanto nos resultados do *RoadMap* no curto prazo, isso indica um investimento constante dessa empresa para manter o seu papel de líder na área de "Pós-Tratamento", manejo e distribuição de gases industriais. Além dessas empresas, aparecem os próprios donos dos empreendimentos como a BASF que investiu nos últimos anos e segue investindo para garantir um melhor desempenho das suas plantas de produção de amônia. Destaca-se também a presença da *Lanzatech*, um *player*

desconhecido e sem tradição na área de tecnologia de produção de amônia, mas que tem patentes concedidas e em temas que podem gerar inovação de ruptura como por exemplo no desenvolvimento de novos reatores, processos de separação de gases e co-produção de metanol. Embora não se tenha observado nenhum *cluster* com mesmo foco para as pesquisas de curto prazo, todas as empresas citadas anteriormente estão pesquisando pelo menos um ou mais temas em comum.

Áreas em que a inovação pode trazer diferenciais competitivos são foco de pesquisa da maioria das grandes empresas que detém o mercado de produção de amônia mundial e de novos entrantes, como o desenvolvimento de catalisadores, ou novos equipamentos, reatores, membranas para otimizar as operações de separação ao longo do processo produtivo da amônia, produção de outros fertilizantes nitrogenados e a co-produção de outros produtos promovendo a integração de processos, os quais podem garantir características únicas à tecnologia empregada em determinado empreendimento.

7.2 Análise Vertical - Médio Prazo

As tradicionais detentoras de tecnologia nessa área continuam presentes na aplicação de tecnologias a médio prazo, empresas como *KBR, Casale e Haldor Topsoe* seguem pesquisando e novamente com uma grande abrangência. Destaca-se a participação de mais empresas que não haviam aparecido anteriormente no *RoadMap* e que podem chegar a competir em um futuro próximo como a *UOP,* tradicional detentora de tecnologia na área de petróleo e gás. Pode-se citar nesse grupo também a *Saudi Aramco*.

Anteriormente foi dado destaque para a *Air Liquide* que segue aparecendo nesse estudo dentre as empresas com patentes solicitadas. É, no entanto, interessante notar que uma de suas principais concorrentes, a *Praxair* apareceu no curto prazo e outra, a *Air Products* no médio prazo. É importante destacar que alguns temas que inicialmente não apareceram nas patentes concedidas à *Air Liquide* passaram a aparecer nas patentes solicitadas (médio prazo) pela empresa. Além disso, é possível observar na solicitação de patente de um dos seus principais concorrentes, a *Air Products,* que ela está pesquisando praticamente os mesmos temas que a *Air Liquide* no horizonte temporal de médio prazo.

Ficou evidente no horizonte temporal de médio prazo que corporações importantes como a *BASF* e a *JGC Corporation* estão pesquisando exatamente os mesmos temas e por isso foram classificadas como um *cluster* de mesmo foco, embora não sejam empresas parceiras.

A entrada no médio prazo de 3 empresas que estão entre os maiores grupos industriais do mundo chama a atenção, a *GE, Siemens* e *Alstom* aparecem com pesquisas em temas abrangentes da produção de amônia. Esse deve ser um ponto de alerta para as tradicionais detentoras de tecnologia nesse setor, já que por serem fabricantes de equipamentos e ao mesmo tempo detentores de tecnologia em outros setores, os 3 grandes grupos industriais têm a característica de ingressar em determinados mercados para serem líderes. Em alguns anos, pode acontecer uma centralização do conhecimento com essas empresas por estarem com patentes solicitadas em temas bastante abrangentes. Além disso, esses grupos (*GE, Siemens e Alstom*) quando decidem investir em mercados nos quais não têm ampla participação, normalmente compram as empresas líderes que atuavam no setor anteriormente.

É importante destacar também a participação da *Expander Energy Inc.*, um novo entrante com patentes solicitadas em temas que podem garantir eficiência e características únicas à sua tecnologia, podendo vir a competir futuramente com processos inovadores em relação aos tradicionais *players* do setor. Outro *player* com destaque no horizonte temporal de médio prazo que pode trazer inovação de ruptura é a *LiveFuels.* A empresa solicitou patente com o tema: "Síntese a partir de Ar e Água", além de outros temas relacionados à produção de amônia de forma sustentável a partir de matéria-prima e fonte de energia renováveis.

Outro ponto importante a ser observado é acerca da participação da *Mitsubishi Heavy Industries* que além de ser um grande construtor, com experiência em plantas de produção de amônia, como mostrado nos resultados do estágio atual, está investindo em desenvolvimento de tecnologia. Esse é outro grande grupo que teria capacidade de verticalizar a implantação de um empreendimento de produção de amônia, indo desde a fase da engenharia conceitual até a entrega da chave da sala de controle ao dono do empreendimento ao final da construção.

7.3 Análise Vertical - Longo Prazo

Dos 3 *clusters* de mesmo foco formados a partir da análise dos artigos científicos o mais importante e com a presença de grande parte das instituições que fazem parte do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia no longo prazo é o que está relacionado à "Produção de Hidrogênio" a partir da amônia como matéria-prima. Muitas universidades e institutos de pesquisa ao redor de todo o planeta estão pesquisando especificamente esse tema, levando em consideração a nanotecnologia para o desenvolvimento de novos catalisadores, bem como a reação catalítica de decomposição da amônia ou de compostos a base de amônia para a "Produção de Hidrogênio". Esse é um tema que foi destacado em boa parte dos artigos utilizados nesta dissertação e merece um destaque especial por parte de empresas de tecnologia, mas principalmente de donos de empreendimentos de produção de amônia. A "Produção de Hidrogênio" tem um interesse específico que seria a mudança da matriz energética mundial, sendo um combustível renovável que até pouco tempo atrás não era viável por conta dos altos custos produtivo e logístico, além dos perigos do manuseio do hidrogênio ao longo da cadeia de produção e distribuição desse gás como combustível. Com os recentes avanços na tecnologia de catalisadores principalmente relacionados ao advento da nanotecnologia, processos que eram inviáveis passaram a ser possíveis no longo prazo.

Outro *cluster* com mesmo foco a ser explorado no *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia é o que está dedicado à "Reação Catalítica Seletiva" e ao desenvolvimento de novos catalisadores. No entanto, a aplicação específica não é voltada para a "Produção de Hidrogênio" exclusivamente, mas para a otimização da reação de produção de amônia e outros produtos químicos.

O terceiro *cluster* foi formado em torno do tema: "Pré-Tratamento de Biomassa" que é a utilização da amônia em contato com a biomassa antes do início dos processos de transformação bioquímica. O pré-tratamento com amônia otimiza a produção de produtos como o etanol de segunda geração por exemplo, que são produzidos pela rota bioquímica a partir de biomassa. Já que a amônia é capaz de remover a lignina da biomassa, aumenta a disponibilidade da matéria orgânica para o consumo do microrganismo responsável pela fermentação. No caso da produção de etanol de segunda geração ou bioetanol, aumenta-se o rendimento do processo a partir da utilização do bagaço da cana, aumentando a viabilidade econômica da produção desse

produto. O grupo de universidades pesquisando esse mesmo tema é bem diverso e é composto por instituições de diversos países.

Além disso, estão presentes nos resultados de longo prazo do *RoadMap* para a produção de amônia, algumas parcerias entre universidades e universidade-empresa. Os temas pesquisados são bastante diversificados e atendem a um espectro abrangente de inovações que podem ser aplicadas no longo prazo no setor de produção de amônia.

De uma maneira geral, institutos de pesquisa norte americanos, europeus, asiáticos e da Oceania aparecem com pesquisas acerca da produção de amônia, bem como universidades importantes da América Latina e de países produtores de petróleo do Oriente Médio como o Irã e Arábia Saudita.

7.4 Análise Horizontal - Estágio Atual, Curto, Médio e Longo Prazos

Neste ponto, será feita a análise de acordo com as estratégias mercadológicas nos períodos de tempo analisados, bem como sua evolução temporal.

Os temas relacionados à reação catalítica e ao desenvolvimento de catalisadores foram muito abordados em todos os horizontes temporais desse estudo. Os mesmos mostram-se como um diferencial competitivo e de mercado e são pesquisados com vistas a assegurar posições no curto e médio prazos, mas também para promover inovações de ruptura no setor, já que, no longo prazo, foram amplamente pesquisados por instituições que buscam viabilizar a "Produção de Hidrogênio" utilizando a amônia ou compostos de amônia como matéria-prima. Os demais "Insumos do Processo": "Reatores", "Membrana Permeável" e "Fonte Renovável de Energia para o Processo", aparecem com menos frequência que o desenvolvimento de catalisadores e têm mais destaque no horizonte de tempo de curto e médio prazos, já que nesses horizontes temporais foram observadas predominantemente inovações incrementais.

Já na "Aplicação e Produção de Produtos da Amônia", são abordados temas que somente aparecem no horizonte de tempo de longo prazo, como o "Pré-Tratamento de Biomassa" e a "Produção de Hidrogênio". O tema da "Produção de Outros Fertilizantes Nitrogenados" aparece somente no curto e médio prazos, isso se deve a que a "Produção de Outros Fertilizantes Nitrogenados" a partir da amônia, possui referências bem estabelecidas dentro da química inorgânica. Já a aplicação da amônia no "Pré-Tratamento de Biomassa" e a "Produção de Hidrogênio", são temas inovadores e que pouco foram pesquisados no passado. Tanto a produção de biocombustíveis a partir de

biomassa como a "Produção de Hidrogênio" eram considerados pouco viáveis se comparados à utilização de combustíveis fósseis.

As taxonomias ligadas à "Síntese de Amônia ou Gás de Síntese" têm um misto de temas ligados a inovações incrementais como a "Reforma a Vapor de Hidrocarbonetos", a "Reação de Substituição de Água por Gás", o "Reciclo de Gases/Vapores", "*Pressure Swing Adsorption - PSA*", "Reação de Oxidação Parcial" e a "Reforma Secundária com Injeção de Ar" e nesse caso aparecem praticamente só nos horizontes temporais de curto e médio prazos, sendo amplamente pesquisados ao longo da história por tradicionais detentoras de tecnologia de produção de amônia. No entanto, há temas ligados à síntese de amônia que trazem inovações de ruptura como: a "Gaseificação e Síntese de Amônia a partir de Biomassa", a "Síntese a partir de Ar e Água", a "Rota de Produção Bioeletroquímica" e a produção de amônia a partir do tratamento de correntes de "Gás de Exaustão" que aparecem principalmente no horizonte temporal de longo prazo.

Os temas pesquisados e que têm relação com aspectos da tecnologia de produção de amônia e que são qualificados como "Pós-Tratamento" e "Aproveitamento de Energia no Processo" nesta dissertação, aparecem nos horizontes temporais de curto, médio e longo prazos quase que com a mesma frequência, já que são complementares a qualquer desenvolvimento de um novo processo de produção de amônia ou gases (como por exemplo o hidrogênio) produzidos à partir da amônia como matéria-prima. Esses temas são também inerentes à viabilização da produção de um produto em processos novos ou existentes, já que o "Aproveitamento de Energia no Processo" está ligado à viabilidade técnica e econômica de qualquer processo produtivo.

No próximo capítulo estão registradas as conclusões que puderam ser extraídas do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, bem como da experiência ao ter desenvolvido este trabalho. Serão registradas também, sugestões de trabalhos futuros para ampliar ou detalhar ainda mais o estudo realizado nesta dissertação.

8 CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

A partir da análise do *RoadMap* para a produção de amônia que nos possibilita uma visão no eixo horizontal ao longo do tempo partindo do estágio atual, passando pelo curto, médio e longo prazos e da escolha de taxonomias que compõem o eixo vertical, abordando aspectos relacionados ao mercado, ao produto e à tecnologia, é possível concluir que o desenvolvimento desse estudo colabora com os *players* da indústria nacional que estão estabelecidos no mercado de produção de amônia, bem como novos entrantes que possam vir a investir no Brasil nesse setor.

Entendendo o estado da arte na área de produção de amônia é possível pensar em parcerias estratégicas para o Brasil, já que é um país que não tem tradição no desenvolvimento de tecnologia para a produção de amônia, é um exportador de *commodities* agrícolas e ao mesmo tempo um importador de fertilizantes, no qual a produção interna de amônia e os novos investimentos no setor estão sob a responsabilidade de um único *player*. O *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, mostrou-se uma ferramenta aplicável à tomada de decisão e ao embasamento de um planejamento estratégico. Destaca-se a capacidade de colaboração específica desta dissertação e do *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia para o planejamento estratégico dos *players* do setor ou dos novos entrantes que buscam investir no mercado de produção de amônia.

O *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia mostrou o estado da arte tecnológico do setor e não fez juízo de valor sobre as tecnologias empregadas. Esse tipo de avaliação deve ser feito posteriormente ao *RoadMap* caso o *player* queira fazer um investimento em algum dos temas abordados nesta dissertação. Portanto, se uma tecnologia não é viável no estágio atual por exemplo, não coube a esta análise a indicação se determinada tecnologia é ou não viável.

Além disso, ao analisar os resultados apresentados no *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, é possível concluir que:

- As análises vertical e horizontal complementares ao *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia, evidenciaram a evolução das pesquisas dos *players* ao longo do tempo, possíveis movimentações de mercado que podem ocorrer nos próximos anos como aquisições e parcerias tecnológicas. Mostraram também uma possível mudança no foco da aplicação da amônia;

- Existe uma rede relacional entre os *players* que aparecem no *RoadMap* mas não há um alinhamento entre as três esferas institucionais: Universidade, Governo e Indústria. Observa-se no *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia a presença de grandes empresas líderes no setor de tecnologia como *KBR, UOP, Haldor Topsoe, Stamicarbon, Air Liquide, Praxair, Air Products e Toyo*; grandes grupos industriais como *GE, Siemens, Fluor, Mitsubishi Heavy Industries e Alstom;* grandes empresas do setor químico e de petróleo e gás como *BASF*, Petrobras, *Saudi Aramco* e *Invista;* pequenas empresas ligadas à inovação como *Expander Energy Inc. e Livefuels*; universidades como *UFMG, University of Cambridge, King Abdulaziz University e etc.* e instituições governamentais como a *Chinese Academy of Sciences, Japan Science and Technology Agency* e etc.; mostrando a diversidade de *players* que estão envolvidos no desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à produção de amônia;
- A maioria dos *players* que aparecem no *RoadMap* estão dedicados a pesquisar mais de um tema, o que mostra o desejo de inovação desse setor em diversas frentes de pesquisa, sejam temas de inovação incremental ou temas de inovação de ruptura;
- O aspecto da competitividade entre as empresas e a manutenção da posição conquistada por meio do investimento em inovação isoladamente por cada grupo industrial ficou evidenciado pela falta de parcerias e de pesquisas com o mesmo foco nos horizontes temporais de curto e médio prazos;
- No horizonte temporal de longo prazo, foram identificadas diversas parcerias entre universidades e foram formados *clusters* importantes de mesmo foco, o que evidencia um alinhamento mundial em torno da inovação no setor de produção de amônia. Esses *clusters* ou redes de cooperação podem ser entendidos como a relação entre parceiros independentes que combinam seus esforços e recursos num processo conjunto de criação de valor. Essas instituições promovem a inovação de ruptura e a evolução tecnológica mundial, já que, a partir delas, podem surgir *players* líderes em um setor industrial ou até mesmo um novo setor industrial que poderia ser inviável sem o progresso tecnológico promovido por elas;
- Há perspectivas para inovações incrementais ao longo da próxima década. Entretanto, ao se tratar de um horizonte de longo prazo, as instituições estão preferindo investir em inovação de ruptura para promover principalmente novas aplicações da

amônia a partir das perspectivas que se abrem para a pesquisa de novos catalisadores com a nanotecnologia;

- Foram observados aspectos da produção sustentável da amônia, os quais são pesquisados tanto por *players* tradicionais quanto por novos entrantes que buscam viabilizar novas tecnologias para o processo de produção de amônia, introduzindo matéria-prima e fontes de energia renováveis;
- A entrada de grandes grupos industrias nesse setor como a *GE, Siemens e Alstom,* pode representar uma ameaça para os *players* tradicionais que se dedicam ao desenvolvimento de tecnologias de produção de amônia há quase um século. É interessante observar o investimento de grandes empresas de construção como a *Mitsubishi Heavy Industries* o que também pode se tornar uma ameaça aos tradicionais *players* já que esse tipo de empresa teria a condição de verticalizar a entrega de uma nova planta cujo projeto conceitual seria próprio, não dependendo mais da tecnologia desses tradicionais *players* como *KBR, Haldor Topsoe* etc.;
- Por meio da análise das estratégias mercadológicas dos *players* e da maneira como elas se condicionam nos diversos períodos de tempo analisados, é possível concluir que a tecnologia de catalisadores é a mais pesquisada nesse setor e a que pode diferenciar qualquer tecnologia de produção de amônia;
- Na análise realizada na fase pós-*RoadMap* foi possível notar que alguns *players* mantém a mesma linha de pesquisas em diferentes horizontes temporais;
- É possível notar que há uma desconexão entre os temas pesquisados pelas universidades no horizonte de tempo de longo prazo em comparação com os temas pesquisados pelas empresas no curto e médio prazos. O que evidencia que os interesses de universidades são diferentes dos que as empresas que pesquisam sobre o tema possuem;
- Foram apresentados temas no *RoadMap* tecnológico para a produção de amônia que se conectam entre si e que podem gerar tanto inovação incremental como inovação de ruptura para o setor.

Sugestão de trabalhos futuros

- Como sugestão de novos trabalhos é possível realizar um *RoadMap* tecnológico voltado à "Produção de Outros Fertilizantes Nitrogenados" como a ureia ou outros produtos oriundos da amônia. É possível também detalhar o estudo no sentido de avaliar especificamente algum dos processos produtivos ou de síntese abordados neste estudo de uma forma mais ampla;
- Pode-se sugerir também a realização de um estudo de viabilidade da integração de outras plantas com as de produção de amônia. O foco pode ser a identificação de aspectos produtivos, mercadológicos e da tecnologia que são favorecidos pela integração de processos e dão uma visão mais ampla para o investidor que quer atuar não somente no setor de produção de amônia, mas em complexos de produção de diversos tipos de fertilizantes e outros produtos químicos que poderiam aproveitar-se da sinergia gerada por processos que funcionam de forma integrada;
- É possível ainda desenvolver cenários baseados no *RoadMap* tecnológico e avaliar questões de difusão tecnológica que não foram abordadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

Ammonia Industry. ***Ammonia-Monitor.*** Disponível em: < https://ammoniaindustry.com/>. Acessado em 26/01/2016.

ANDA. **Publicações**: Disponível em: <http://www.anda.org.br/multimidia/investimentos.pdf>. Acessado em: 30/01/2016.

ANDA. **Estatísticas - Indicadores.** Disponível em: <www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>. Acessado em: 16/08/2015.

ANP. **BOLETIM ANP 2014**. Disponível em: < file:///C:/Users/Andre%20Oberziner/Dropbox/Mestrado/Disciplinas/Prospecção%20Tecnológica/BOLETIM%20ANP%202014.pdf>. Acessado em 12/06/2015.

ANP. **Os desafios do Brasil na próxima década.** Disponível em: < file:///C:/Users/Andre%20Oberziner/Downloads/72337.pdf>. Acessado em: 31/01/2016.

BAHRUTH, E. B. **Prospecção tecnológica na priorização de atividades de C&T: caso QTROP-TB**. 2004. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004. Orientadores: Adelaide M. S. Antunes e José Victor Bomtempo.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **60 anos: perspectivas setoriais**/Organizador: Filipe Lage de Sousa. – 1. ed. – Rio de Janeiro: BNDES, 2012. v. 1: il. 384 p. Vários autores.

BORSCHIVER S., COELHO K. M., JESUS A. O. C., NUNES S. B., ***RoadMap*** **Tecnológico Sisal,** ***International Symposium on Technological Innovation*****,** Aracaju, SE, Brasil, 24-26th September, 2014.

BORSCHIVER S., LEMOS A. **Technology *RoadMap* - planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia.** Rio de Janeiro, Editora Interciência. 2016.

BUCHEL, Karl Heinz. **Industrial Inorganic Chemistry**. 2. ed. Leverkuaen: Wiley-vch, 2003.

CASALE Disponível em: <www.casale.ch>. Acessado em: 12/10/2016.

CASTRO *et al*. **Cadeias produtivas e sistemas naturais: prospecção tecnológica.** EMBRAPA – SPI. Brasília, 1998. p.564.

CHAGAS A. P., **A síntese da amônia: alguns aspectos históricos.** São Paulo, Química Nova, Vol. 30, No. 1, 240-247, 2007.

Chemicals Technology. ***Projects In Fertilisers.*** Disponível em:<http://www.chemicals-technology.com/projects/category/fertilisers/>. Acessado em: 20/01/2016.

D.R. Probert, R. Phaal, C.J.P. Farrukh, **Structuring a systematic approach to technology management: concepts and practice**, International Association for Management of Technology (IAMOT) Conference, Lausanne, 19–22nd March, 2000.

EIA. **Today in Energy**. Disponível em: < https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=22272>. Acessado em: 31/01/2016.

EIA. **Today in Energy**. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=10511>. Acessado em: 31/01/2016.

EIRMA, ***Technology RoadMapping — delivering business vision*, *Working group report, European Industrial Research Management Association***, Paris, 52, 1997.

ENIKEEVA, Karina. **Russian Fertilizer Landscape: Opportunities and Challenges for the next 10 years.** Russia: Sibur Fertilizers, 2011.

FAO. **The state of food and agriculture.** Disponível em: <www.fao.org/publications/sofa/2013/en/>. Acessado em: 09/08/2015.

FARIAS, Pedro Igor Veillard. **Aspectos Técnicos e Econômicos da Indústria de Fertlizantes NPK no Brasil.** Rio de Janeiro, 2015.

FERNANDES, R., Patel, N., Paris, A., Calliari, L., Miotello, A. **Improved H_2 production rate by hydrolysis of Ammonia Borane using quaternary alloy catalysts.** International Journal of Hydrogen Energy. Volume 38, edição 8. Itália, 2013.

GARCIA, M. L. and BRAY, O. H. (1998). **Fundamentals of Technology *RoadMap*ping.** Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories Report SAND97-0665

GOMES, Marco Antônio Ferreira *et al*.. **Nutrientes Vegetais no Meio Ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos.** 2. ed. Jaguariúna, Sp: Embrapa Meio Ambiente, 2008.

GUPTA, Rajeev (2011). ***Project Management*.** Prentice-Hall of India. p. 21.

HALDOR TOPSOE. Disponível em: <www.topsoe.com>. Acessado em: 12/10/2016.

IFA. **Short Term Fertilizer Outlook**. Disponível em:< http://www.fertilizer.org/MarketOutlooks>. Acessado em: 31/01/2016.

IFA. **Fertilizer Facts.** Disponível em: < http://www.fertilizer.org/imis20/images/Library_Downloads/2014_ifa_ff_september.pdf?WebsiteKey=411e9724-4bda-422f-abfc 8152ed74f306&=404%3bhttp%3a%2f%2fwww.fertilizer.org%3a80%2fen%2fimages%2fLibrary_Downloads%2f2014_ifa_ff_september.pdf> Acessado em 31/01/2016.

KAPPEL, T. A. **Perspectives on *RoadMap*s**: **how organizations talk about the future.** The Journal of Product Innovation Management, 18, 39-50. 2001.

KBR. Disponível em: <www.kbr.com>. Acessado em: 12/10/2016.

KOOL, A. *et al*.. **GHG Emissions of N, P and K fertilizer production**. Disponível em:<blonkconsultants.nl/upload/pdf/PDV%20rapporten/fertilizer_production%20D03.pdf. Acessado em: 30/08/2015.

KULAIF, Yara; FERNANDES, Francisco Rego Chaves. **Panorama dos agrominerais no Brasil: Atualidades e perspectivas.** In: FERNANDES, Francisco Rego Chaves; LUZ, Adão Benvindo da; CASTILHOS, Zuleica Carmem (Ed.). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 1-21.

LIU, H. **Ammonia synthesis catalyst 100 years: Practice, enlightenment and challenge**. Zhejiang, China. Chinese Journal of Catalysis. 2014.

LOPES, Alfredo Scheid; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: LAPIDO-LOUREIRO, Francisco Eduardo; MELAMED, Ricardo; FIGUEIREDO NETO, João. **Fertilizantes: Agroindústria & Sustentabilidade.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. Cap. 1. p. 33-81.

LOUREIRO A. M. V., BORSCHIVER S., COUTINHO P. L. A., **The Technology *RoadMap*ping Method and its Usage in Chemistry.** Rio de Janeiro, Journal of Technology Management & Innovation, Volume 5, Issue 3. 2010.

MEESSEN, J. H. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. 8.ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2011.

MIRANDA, E.,. **A luz que vem do oriente.** Jornal do Semi-árido. CPATSA, 1983,nº9.

Museu Judaico de Berlim. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADntese_de_HaberBosch#/media/File:Haber_Ammonia.JPG>. Acessado em: 01/10/2016.

NAND, S; GOSWAMI, Manish. Recent **Efforts in Energy Conservation in Ammonia and Urea Plants.** Indian Journal Of Fertilisers. Nova Delhi, p. 1720. dez. 2008.

NASDAQ - **Latest prices for major commodities**: < http://www.nasdaq.com/markets/natural-gas.aspx?timeframe=5y>. Acessado em: 02/10/2016.

NEITEC – Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos. **Orientações.** Disponível em:<www.neitec.com>. Acessado em: 27/02/2016.

O AGRONÔMICO: Principais contribuições de pesquisas realizadas no IAC. Campinas, 31 mar. 2007.

OBERZINER A. L. B, FERREIRA H., **O Mercado Mundial de Fertilizantes Nitrogenados e o Caso Particular do Brasil: Cenário Atual e Perspectivas**. Monografia Engenharia de Produção - UFRJ, 2011.

PETROBRAS e MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Petrobras – posicionamento atual e perspectivas de produção de fertilizantes nitrogenados**. Disponível em: < www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_tematicas/Insumos_agropecuarios/46/Petrobras.pdf>. Acessado em: 15/08/2015.

PETROBRAS RI. **Petrobras.** Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/ri/>. Acesso em: 18/08/2011.

PETROBRAS **Fatos e Dados**. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/conclusao-de-unidades-de-fertilizantes-resposta-ao-estado-de-s-paulo.htm>. Acessado em 30/01/2016.

PETROBRAS Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/arla-32-flua-petrobras/>. Acessado em 12/10/2016.

PHAAL, R. 2008. **Public domain *RoadMap*s.** Universidade de Cambridge, jun. 2008. Disponível em: <http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/ctm/trm/documents/published_*RoadMap*s.pdf.>. Acessado em 20/01/10.

PHAAL, R., C.J.P. Farrukh, D.R. Probert, **Technology *RoadMap*ping - A planning framework for evolution and revolution**, Technological Forecasting & Social Change, 71 (2004) 5–26.

PIO, M. J., Amorim, M.G. ; BERTUCCI, J. ; Caruso, L.A.C. . **Identificação de Estruturas de alta, média e baixa qualificação profissional com base em cenários prospectivos**. In: Marina Pereira Pires de Oliveira; Paulo A.Meyer M. Nascimento; Aguinaldo Nogueira Maciente; Luiz Antônio Caruso; Eduardo Miguel Scheneider. (Org.). Rede de Pesquisa: Formação e Mercado de Trabalho - Coletânea de artigos. 1ed.Brasília: , 2014, v. III, p. 148-180.

PORTER, Michael. E. **Estratégia Competitiva: Técnicas para análise de indústrias e da concorrência.** Rio de Janeiro: Campos. 1991. p.362.

PORTER, Alan L., DETAMPEL, M. J. **Technology Opportunities Analysis. Technological Forecasting and Social Change.** New York. N.49. 1995. p.237-255.

POTASHCORP. **Potashcorp Datatool 2011**. Disponível em: <www.potashcorp.com >. Acessado em: 02/10/2016.

POTASHCORP. **Data & Facts.** Disponível em: <www.potashcorp.com >. Acessado em: 02/10/2016.

Prêmio Nobel - Website. **Biografia de Carl Bosch**. Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1931/bosch-bio.html>. Acessado em: 16/07/2016.

PRESCOTT, John E.; MILLER, Stephen H. **Inteligência competitiva na prática.** Tradução: Alexandre Feitosa Rosas. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2002.

RODRIGUES, R. C.; BRAGA JR., E. O. ; MARTINEZ, M. E. M. ; OLIVEIRA, L. G. . **Panorama dos pedidos de patente de tecnologias relativas ao setor têxtil brasileiro.** Liinc em Revista, v. 11, p. 520-533, 2016.

ROEDEL, D. **Estratégia e inteligência competitiva.** In: MILLER, Jerry P. O Milênio da Inteligência Competitiva. Porto Alegre: Bookman, 2002.

SANTOS P. C.; SZKLO A. S.; **Urea imports in Brazil: The increasing demand pressure from the biofuels industry and the role of domestic natural gas for the country's urea production growth**. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 29, 188-200, 2016.

SMIL, V.; ***Enriching the Earth***, MIT Press: Cambridge, Massachusets, 2000.

STAMICARBON. Disponível em:<www.stamicarbon.com>. Acessado em: 12/10/2016.

SUTTON, Mark A., ERISMAN, J. W., GALLOWAY, J., ZBIGNIEW, K., WILFRIED, W., **How a century of ammonia synthesis changed the world.** Nature Geoscience 1, 636 - 639, 2008.

TOYO. Disponível em: <www.toyo-eng.com>. Acessado em: 12/10/2016.

UHDE. Disponível em: <www.uhde-hpt.com>. Acessado em: 12/10/2016.

USGS - United States Geological Survey. Disponível em: < http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nitrogen/mcs-2015-nitro.pdf>. Acessado em: 30/01/2016.

VALE. **Vale Fertilizantes.** Disponível em: < www.fosfertil.com.br/www/afosfertil/processo.asp> . Acessado em: 30/08/2015.

YAN, X. *et al*.. **Fertilizer manual**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,1998.

YARA. **Yara Fertilizer**. Disponível em: <http://yara.com/media/documents_and_media/>. Acessado em 10/12/2014.

Apêndice A - *ROADMAP* TECNOLÓGICO PARA A PRODUÇÃO DE AMÔNIA - A3