

### **3 Análise do Projeto**

Conforme argumentado na seção anterior, analisamos a aplicação da TOR ao estudo de valoração de novas tecnologias, ou de tecnologias resultantes de projetos de P&D sobre processos já existentes. Este tipo de estudo compreende, normalmente, o entendimento de duas dimensões da tecnologia em questão: a técnica e a do valor do projeto. Cabe ressaltar que esta abordagem pode ser eficiente quando se quer demonstrar o valor adicionado pelo investimento em tecnologia e o foco não está nas incertezas externas. Os resultados esperados são o valor do projeto, ou o valor que o projeto adiciona para a firma (conforme explicitado anteriormente, uma espécie de “VPL expandido”) e a expectativa de investimento para atingir o seu desenvolvimento. Na análise técnica estudam-se os processos de interesse visando identificar as incertezas tecnológicas. Neste caso particular, ela visa contextualizar e apresentar as tecnologias envolvidas em um projeto petroquímico, bem como identificar as incertezas e opções existentes para subsidiar a modelagem do valor das opções reais envolvidas.

#### **3.1 Indústria Petroquímica Brasileira**

Para entender melhor o ambiente onde está inserido o projeto a ser analisado, faz-se necessário conhecer um pouco da indústria química e petroquímica. De acordo com informações da ABIQUIM (2013), em 2011, o Brasil possuía o sexto maior faturamento líquido da indústria química mundial, apresentando um crescimento histórico (1990-2011) de cerca de 8% ao ano, frente a um crescimento mundial de 7% ao ano no mesmo período. O setor, também em 2011, representava 2,6% do PIB brasileiro e 10% do PIB industrial. Segundo classificação da mesma entidade, a indústria química pode ser dividida em produtos químicos de uso industrial e de uso final (subdivididos em farmacêuticos, fertilizantes, defensivos agrícolas, higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, produtos de limpeza, tintas, esmaltes e vernizes, fibras artificiais e

sintéticas e outros). A Figura 3.1 contém a estimativa de faturamento líquido do setor em 2012, elaborada pela ABIQUIM e subdividida nas categorias mencionadas.

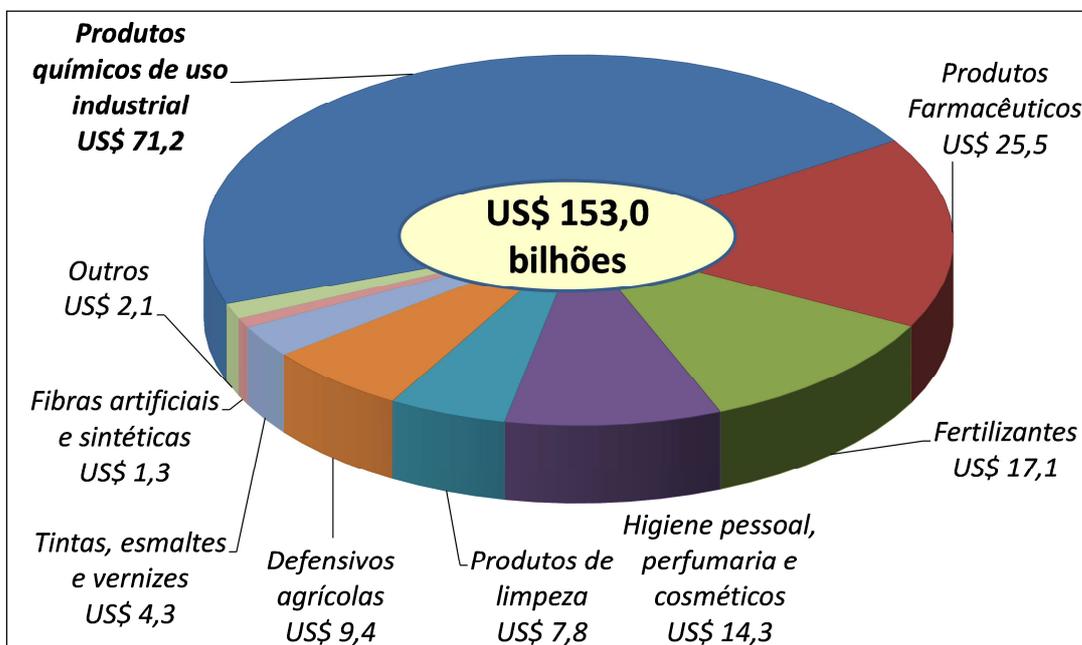


Figura 3.1: Faturamento da indústria química brasileira em 2012 (US\$ bilhões).  
(Fonte: ABIQUIM, 2013)

A indústria petroquímica, principal segmento da indústria química brasileira (Bastos e Costa, 2011), teve origem nos Estados Unidos, após a Segunda Guerra Mundial, e é caracterizada pela alta complexidade de sua cadeia produtiva, necessitando de várias etapas para chegar ao consumidor final. É dividida, de uma maneira geral, em petroquímica básica, ou primeira geração, intermediária, ou segunda geração, e transformação, ou terceira geração, conforme pode ser observado com mais detalhes na Figura 3.2. Além disso, é intensiva em capital, o que ressalta a importância da escala de produção, sendo comuns neste meio os conceitos de escala mínima e escala econômica. A matéria-prima, em geral, é derivada do petróleo e do gás natural. Porém, o uso de fontes renováveis, como o etanol, em substituição às fontes fósseis também é considerado. A matéria-prima é fator fundamental na competitividade deste setor, pois, não raro, representa mais de 50% do custo total da operação (Mothé e Guimarães, 2007 apud Antunes, 2007). Não existem estatísticas específicas sobre o setor petroquímico brasileiro por conta da dificuldade de separação das empresas e dos

produtos, levando em conta que muitas empresas são multidivisionais, produzindo alguns produtos petroquímicos e outros não (ABIQUIM, 2013).

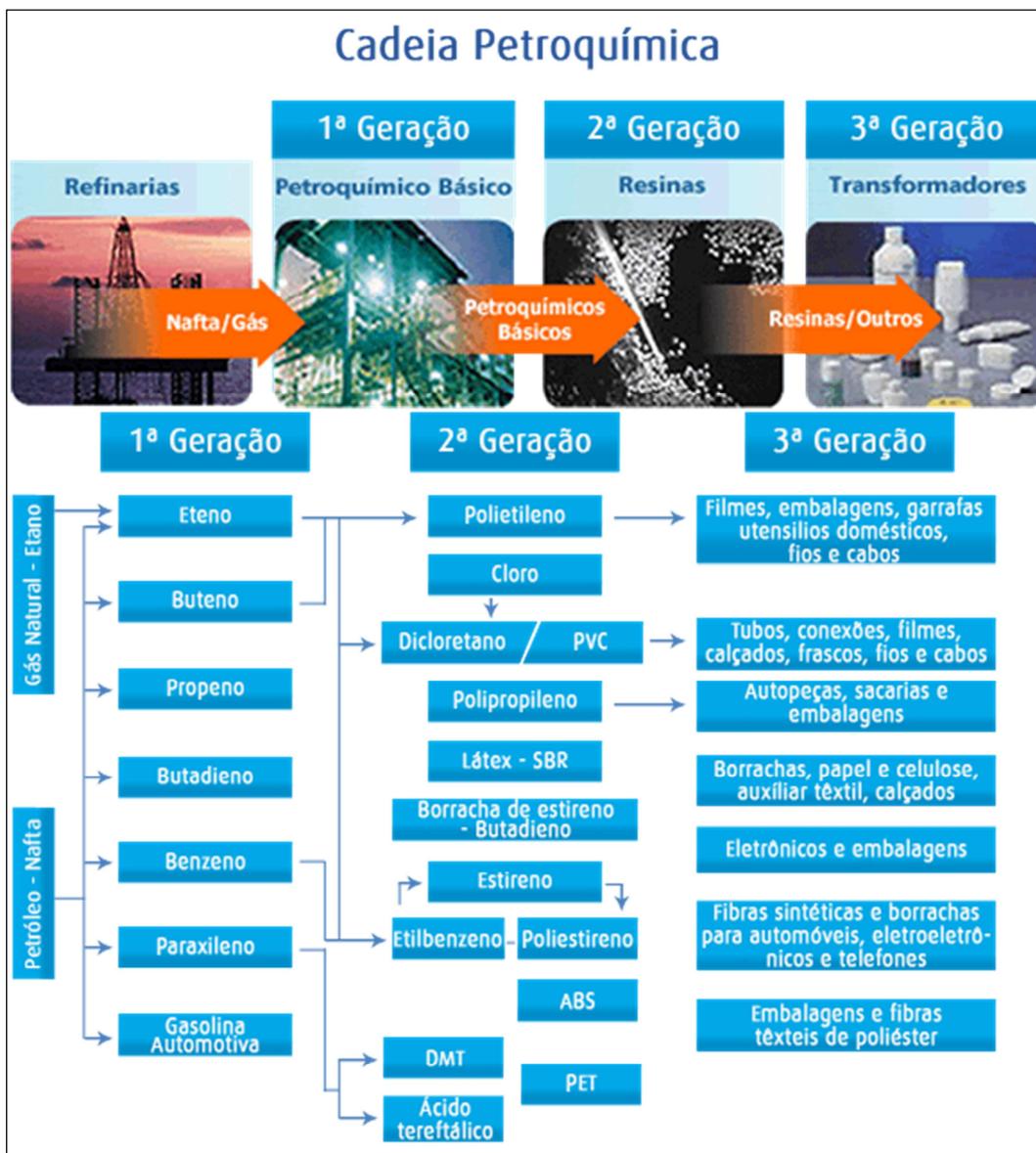


Figura 3.2: Organização da cadeia produtiva da indústria petroquímica. (Fonte: Braskem, 2013)

Segundo Pinto (2011), o histórico do desenvolvimento da indústria petroquímica no Brasil pode ser dividido em quatro fases:

- Fase I (1950-1968): rápida expansão no pós-guerra, com forte crescimento da demanda. Instalação de plantas principalmente no estado de São Paulo, que utilizavam matérias-primas importadas;

- Fase II (1968-1975): com a criação da estatal Petroquisa, o setor começou a se organizar durante o período do chamado “Milagre Econômico”. O primeiro polo petroquímico foi construído em Capuava, SP, e iniciou suas atividades em 1972, com um modelo tripartite de participação (estatal - privado nacional - privado multinacional). Pelo mesmo modelo, foi concebido o segundo polo petroquímico em Camaçari, BA.
- Fase III (1976-1990): entrada em operação do polo de Camaçari e construção do polo petroquímico de Triunfo, RS, ainda pelo modelo tripartite, porém, com maior participação do setor privado.
- Fase IV (1990-atual): privatização das empresas petroquímicas, passando o controle de predominantemente estatal para privado. Este movimento foi sucedido por uma consolidação em poucas empresas privadas, sendo a maior delas a Braskem.

Atualmente, o Brasil ainda é grande importador de diversos produtos, coma produção da indústria química brasileira fortemente baseada em *commodities* (como as resinas plásticas, que são o principal segmento da indústria petroquímica), sendo menos representativa a produção de produtos com maior valor agregado e mais intensivos em tecnologia. Isto se explica, entre outros fatores, pela limitação dos investimentos, pela escassez de matérias-primas, pela reorientação global de empresas multinacionais e pelo deslocamento de plantas (Bastos e Costa, 2011).

Além do petróleo e do gás natural, o etanol vem se tornando importante matéria-prima na indústria química (e como substituto na indústria petroquímica) brasileira. Produzido no Brasil a partir da cana-de-açúcar em larga escala desde a década de 1970, apresenta maior competitividade quando comparado com outros grandes produtores mundiais como Estados Unidos e Alemanha. Regulações do governo garantem o uso do etanol como combustível misturado na gasolina, além de haver uma frota considerável que é capaz de utilizar etanol puro (Pinto, 2011). Cerca de 5% do etanol produzido no país é destinado para produção industrial. Existem, porém, indícios de que esta fatia, hoje modesta, tende a crescer consideravelmente na esteira de anúncios feitos por grandes empresas de

tecnologias para produção de produtos tradicionalmente oriundos de fonte fóssil a partir de etanol (Pinto, 2011).

### 3.2

#### Descrição do projeto

Segundo Bastos e Costa (2011),

a indústria química brasileira é caracterizada por grande assimetria. Seu motor de crescimento tem sido exclusivamente o mercado interno, com exceção de períodos em que a retração doméstica é compensada por algum aumento das exportações às custas de redução de preços, como na crise de 2008-2009. Ainda assim, a produção química brasileira não é capaz de atender completamente à demanda interna, que é crescentemente suprida por importações, resultando em déficits crescentes da balança comercial nas fases de expansão da economia. Em virtude da alta elasticidade da indústria em relação ao PIB, períodos de expansão têm sido acompanhados por explosão das importações e consequentes déficits comerciais de produtos químicos, contribuindo para o desequilíbrio das contas externas e intensificando a vulnerabilidade da economia brasileira.

O contexto do projeto em análise não é diferente daquele apresentado pela indústria química nacional como um todo. O Brasil não produz o produto de interesse do projeto, sendo este totalmente importado. Em 2012, cerca de 90% do volume importado veio da América do Norte (AliceWeb, 2013). Esta realidade aumenta o interesse pela possível produção nacional, desde que esta seja competitiva frente às importações.

O projeto consiste na análise da integração de duas tecnologias cujo propósito é a produção de produtos petroquímicos, sendo uma própria e outra de um parceiro estratégico. O negócio pode ser concebido de duas formas. De maneira desintegrada, no chamado caso base, onde uma empresa é fornecedora de matéria-prima para a outra, ou de maneira integrada, onde podem ser aproveitados os ganhos provenientes da integração em uma só unidade, já que a tecnologia própria pode ser aprimorada através de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e a tecnologia do parceiro, ao ser acoplada com a tecnologia própria, pode

gerar ganhos relativos às sinergias. A Figura 3.3 mostra de maneira esquemática as configurações possíveis.

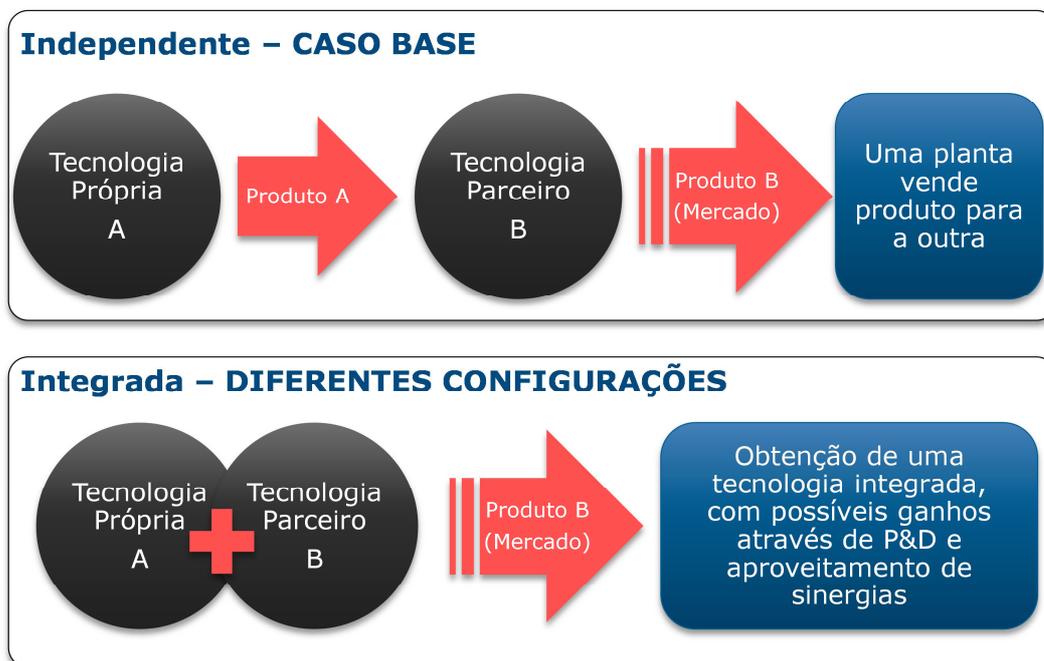


Figura 3.3: Possíveis configurações do negócio.

### 3.2.1 Tecnologia própria

A tecnologia própria consiste de um processo químico para obtenção do produto A usando como matéria-prima o etanol. Tradicionalmente, o produto A é derivado do petróleo e é utilizado em diversos processos de interesse da indústria petroquímica. A rota produtiva proposta pela tecnologia própria se diferencia da tradicional por ser considerada “verde”, ou seja, de fonte renovável. Este tipo de processo tende a se destacar em cenários onde o petróleo é muito valorizado.

Para entender tanto os possíveis projetos de P&D, quanto as sinergias com a tecnologia do parceiro estratégico, é necessário conhecer as características produtivas em linhas gerais. O processo próprio se divide em três grandes seções: reação, purificação e tratamento de efluentes, de acordo com o que se observa na Figura 3.4.

Na seção de reação, os três reatores utilizados são simples vasos onde a matéria-prima (etanol), em contato com um catalisador e em presença de vapor d’água, reage e forma o produto A bruto, o que significa que ele está misturado a

outros subprodutos da reação. Esta corrente consiste de uma mistura de componentes líquidos e gasosos que, após resfriamento, segue para a separação destas fases gasosa e condensada. Após esta separação e de uma remoção primária de contaminantes, o produto A bruto, na fase gasosa, é enviado para a seção de purificação, enquanto que as correntes líquidas seguem para a seção de tratamento de efluentes.

Na seção de purificação, o produto A bruto passa por um processo de secagem e segue para a remoção das impurezas leves, entre elas o metano, numa torre de destilação. Em seguida, são removidas as impurezas pesadas e a fração vapor resultante deste processo é o produto A especificado, ou seja, pronto para venda e utilização em outros processos de interesse. Cabe ressaltar que nos processos de purificação de produto A é necessário um processo específico que chamaremos de “separação rigorosa”, o qual utiliza um fluido de processo de alto custo.

A seção de tratamento de efluentes consiste de uma coluna destinada a separar compostos orgânicos da corrente de efluente não tratado. Esta seção gera parte do combustível necessário para os fornos existentes na planta. Vapor é utilizado para promover o aquecimento de todas as unidades.

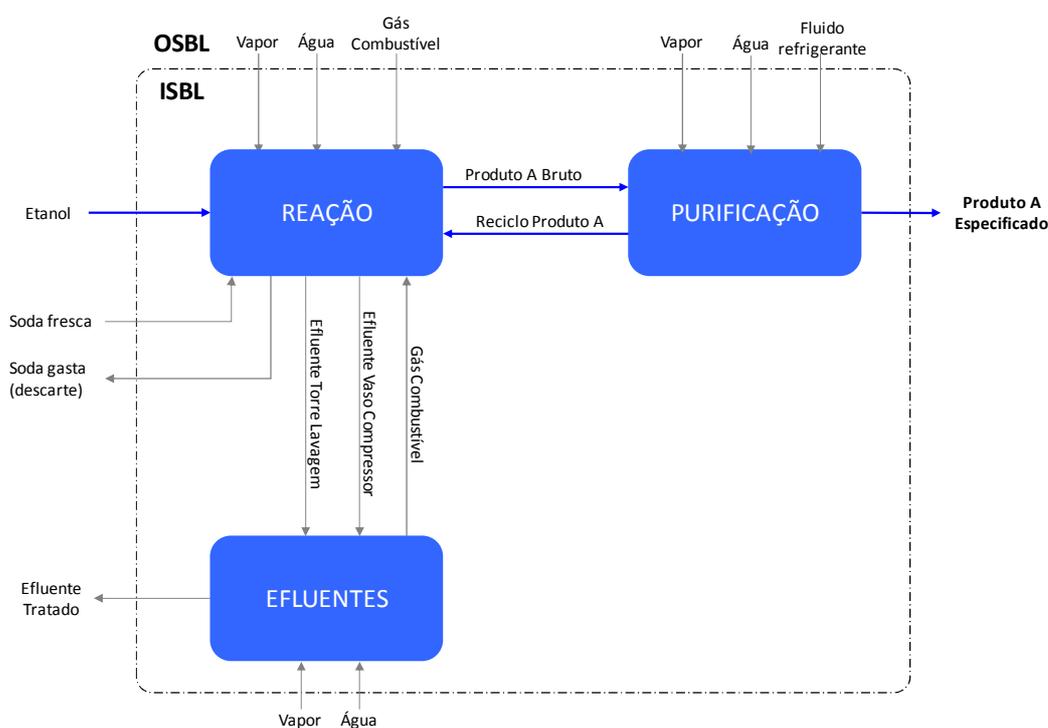


Figura 3.4: Esquema de processo da produção de produto A.

### 3.2.2 Tecnologia do parceiro

A tecnologia do potencial parceiro utiliza o produto da tecnologia própria (produto A) como sua matéria-prima com o objetivo de produzir produtos de interesse da indústria petroquímica, em especial, e de interesse deste estudo, o produto B. Em geral, o produto A que alimenta este processo é de origem fóssil. Quando sua origem é renovável o benefício de ser considerado um produto “verde” se estende também para o produto B. Esta tecnologia compreende as seguintes seções: formação (ou reação) de intermediário 1 (I1), recuperação de I1, remoção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), remoção de impurezas leves, reação, recuperação e purificação dos produtos. Um esquema mostrando os principais correntes de processo é apresentado na Figura 3.5.

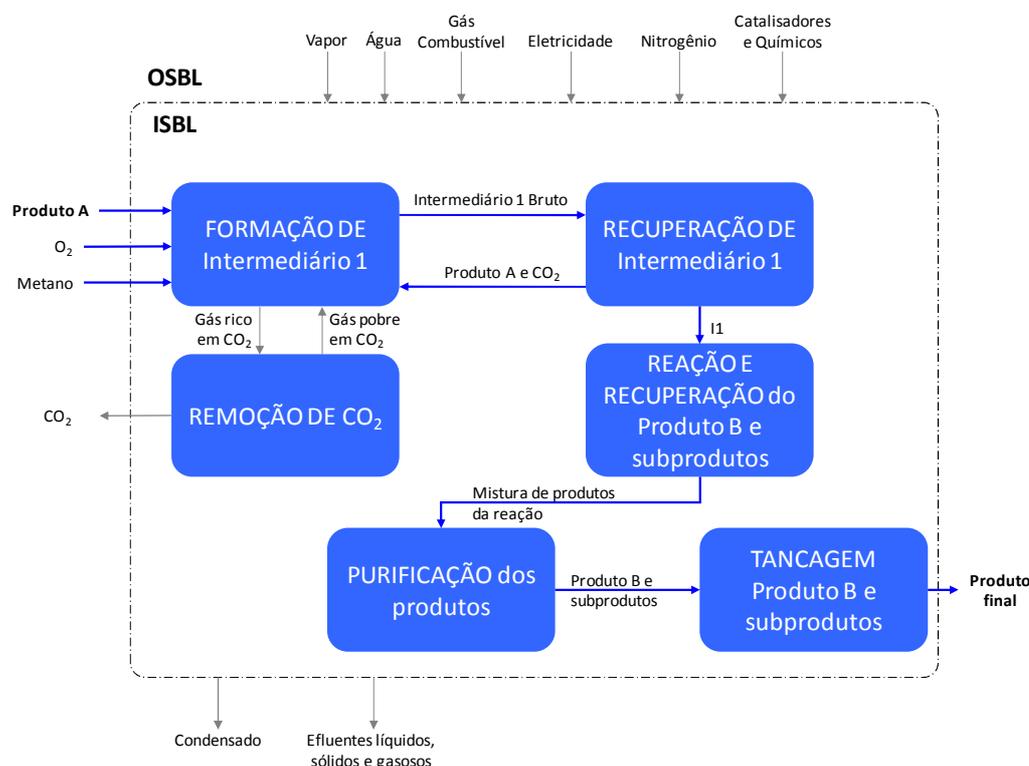


Figura 3.5: Esquema do processo produtivo do Produto B.

O processo como um todo é bastante intrincado. Tendo em vista que o foco deste trabalho não é o processo químico, apenas alguns tópicos serão destacados, pois são necessários para entender a análise subsequente. Na seção de formação de I1, o produto A passa por leitos de remoção de compostos com enxofre, já que este inibe a reação que ocorre na sequência. Além disso, metano é

adicionado no reator desta mesma seção para propiciar condições reacionais mais favoráveis que aumentam a produtividade da planta. Da mesma maneira que na tecnologia própria, vapor é utilizado em toda a unidade para promover o aquecimento das correntes.

### **3.3 Estágio de desenvolvimento**

As tecnologias apresentadas estão em diferentes estágios de desenvolvimento. Além disso, a empresa possui diferentes graus de liberdade quanto à sua atuação na tecnologia própria e na tecnologia do parceiro. Desta forma, foi adotado como premissa que desenvolvimentos que exigem pesquisa e desenvolvimento só são cabíveis para a tecnologia própria. Com relação à tecnologia do parceiro considera-se que ela já esteja apta a operar da maneira como está concebida atualmente, cabendo apenas ganhos de sinergia entre tecnologias.

#### **3.3.1 Tecnologia própria**

A tecnologia própria é adequada para a produção de produto A em sua especificação mais rigorosa. Porém, o processo como foi projetado no passado já não possui a eficiência econômica necessária para ser competitivo nos tempos atuais. Versões anteriores já foram construídas e operadas pela própria empresa e por terceiros no passado. A última versão, já com algumas modernizações, não possui comprovação em escala industrial. Ainda existem melhorias cabíveis, que serão exploradas a seguir.

#### **3.3.2 Tecnologia do parceiro**

A tecnologia do parceiro já foi licenciada por diversos *players* do mercado. Portanto, ela possui comprovação industrial para a versão que utiliza o produto A em sua especificação mais rigorosa e de fonte fóssil. A versão que usa matéria-prima renovável e com uma especificação mais flexível é inédita.

### 3.4 Identificação das incertezas

Conforme exposto na seção 2.4, projetos de P&D apresentam grande incerteza, pois não é possível conhecer, no início do processo, os caminhos randômicos que serão percorridos. Assim sendo, com relação à tecnologia própria foram identificadas duas incertezas distintas, ambas relacionadas com projetos de P&D, quais sejam:

1. Existe um projeto de P&D (P&D 1) que tem por objetivo utilizar apenas um reator, ao invés dos três reatores da configuração atual. Isto pode ser possível através da modificação de algumas premissas do projeto, e representa uma redução no investimento total da planta. Por outro lado, ela implicará um uso de vapor maior que o projetado originalmente. O aumento no consumo de vapor se dá para conter a formação de impurezas que dificultam a especificação do produto A.
2. O outro projeto de pesquisa (P&D 2) visa à determinação da performance do catalisador da seção de reação, o que é fundamental para entender a necessidade da seção de separação rigorosa no processo. Dependendo da quantidade de contaminantes no produto da unidade, pode ser possível para o processo da empresa parceira operar de maneira satisfatória sem a necessidade deste tipo de separação. Além disso, dependendo do catalisador escolhido para o processo, a reação precisará de uma carga térmica menor, o que pode ser traduzido como um investimento mais baixo, já que não seria necessário um forno tão grande, e uma redução do custo operacional em virtude do gás combustível economizado na operação de um forno de menor porte.

Com relação à integração das tecnologias, é possível enxergar uma série de incertezas que, se resolvidas, podem modificar o valor do projeto. Estas incertezas estão apresentadas levando em consideração a ordem lógica com que elas podem ser tecnicamente resolvidas:

3. É questionável a necessidade de uma torre de destilação para remover metano no processo de purificação do produto A, tendo em vista os baixos

teores de metano a jusante do reator e a adição deste insumo feita a montante do reator de II. Esta adição é benéfica para a tecnologia do parceiro porque, conforme explicado na seção 3.2.2, propicia condições favoráveis para a reação e aumenta o rendimento geral da planta. Esta modificação se traduz, basicamente, em redução do investimento total do projeto, além de permitir uma redução na injeção de metano no processo de produção do produto B.

4. Uma incerteza muito relevante é a possibilidade de extinção da seção de separação rigorosa no processo próprio. Esta separação é necessária no processo atual para garantir a especificação mais rigorosa do produto A. Porém, ao passo que a empresa parceira flexibilize esta especificação e o processo gere menos impurezas através da resolução das questões catalíticas, este passo pode ser suprimido, o que garante uma importante redução no investimento, bem como uma redução no custo operacional da planta, tendo em vista que o fluido de processo utilizado é caro e apresenta baixa disponibilidade no mercado atual.
5. Outro ponto onde se observa incerteza é na remoção de enxofre. A quantidade de compostos sulfurosos é parâmetro importante para a etapa de formação do intermediário 1. Se os teores de enxofre no produto A forem baixos o suficiente, são dispensáveis os leitos de remoção de enxofre da unidade, o que promove, primordialmente, uma redução no investimento total.
6. Além disso, uma planta integrada possibilita otimizar o balanço de vapor, reduzindo o custo operacional da unidade através do retorno de condensado para a unidade geradora de vapor.

A Tabela 3.1, a seguir, resume as incertezas apresentadas e identifica em qual unidade elas estão localizadas individualmente.

Tabela 3.1: Mapeamento das incertezas do projeto.

Incerteza	Expectativa de redução		Unidade modificada
	CAPEX	OPEX	
1. P&D 1 (número de reatores)	X	X	própria
2. P&D 2 (teste de catalisadores)		X	própria
3. Torre de destilação	X	X	ambas
4. Separação rigorosa	X	X	própria
5. Remoção de enxofre	X		parceiro
6. Otimização vapor		X	ambas

### 3.5 Identificação das opções

Toda a análise feita para a identificação das flexibilidades do projeto integrado parte do princípio que opção é um direito, mas não uma obrigação, portanto, não requer nenhum compromisso de investimento. Apesar de seguirem uma ordem lógica de resolução, definida por questões técnicas, as incertezas do projeto são independentes entre si. Se não houver investimento na resolução da primeira incerteza, pode-se investir na resolução da segunda, e assim por diante.

Considerando todas as características do projeto, percebe-se que existem seis conjuntos de opções reais com características semelhantes, cada uma relacionada a uma incerteza. Estas opções reais podem ser classificadas, segundo Dias (2011) como opções de aprendizagem endógena (ou *learning by doing*), pois elas dependem inteiramente da intenção da empresa em investir em melhorias tecnológicas e não depende de fatores exógenos, como preços, demanda, entre outros. O período utilizado nesta aprendizagem pode também ser considerado uma espera proativa, já que a simples passagem do tempo não resolve as incertezas. Pode-se imaginar que a espera não necessariamente necessite ser proativa, já que um concorrente poderia investir nas mesmas melhorias e sinergias. Porém, este tipo de desenvolvimento geralmente se transforma em patente – e aí seria necessário comprar a tecnologia, o que também exigiria investimento – ou em segredo industrial. E a espera pelo desenvolvimento de algum concorrente pode resultar na perda do ineditismo, algo que é realmente importante neste ramo relativamente novo da chamada “química verde”. Além disso, o desenvolvimento próprio possibilita investir somente naquilo que se mostrar mais interessante para o negócio como um todo e para o contexto das empresas envolvidas.

Estas opções podem ser caracterizadas, ainda, como opções americanas, pois a qualquer momento podem ser exercidas – e aqui “exercer” é entendido como investir na unidade produtiva – ou abandonadas. Assim, resumindo, cada incerteza tem um conjunto de opções relacionadas, que pode ser:

- Investir na resolução da incerteza (decisão inicial): cada incerteza identificada exige um investimento para ser resolvida. Este investimento se caracteriza por se dar em etapa de projeto (ou, nos casos de P&D, em equipamentos de escala de bancada ou piloto) e ter uma duração curta, medida em meses.
- Investir na unidade produtiva: quando se toma a decisão de investir na unidade produtiva, com qualquer configuração (seja pela simples soma dos dois processos, seja pelo aproveitamento de todas ou de algumas sinergias), o que leva cinco anos e, ao final, o produto B é comercializado no mercado durante toda a vida útil do projeto.
- Continuar e avaliar o investimento resolução da próxima incerteza ou
- Abandonar o projeto.

Esta lógica se estende para todas as opções, exceto pela última opção, onde não há mais a possibilidade de continuar, tendo em vista que a última incerteza identificada já foi tratada. Esse encadeamento de opções faz com que, pela classificação de Copeland e Antikarov (2002), elas possam ser vistas de maneira similar às opções compostas do tipo arco-íris, já que o investimento está planejado em fases, sendo que cada fase é uma opção contingente – neste caso, uma opção de compra – ao exercício prévio de outras opções que são movidas por múltiplas fontes de incertezas. Isto reflete o fato de que muitas decisões são tomadas em fases que não guardam nenhum compromisso antecipado de cumprir todas as etapas, independente da evolução das incertezas inerentes ao projeto. A diferença da visão de Copeland e Antikarov (2002) para a classificação das opções deste projeto encontra-se no fato de que os autores consideram em um mesmo âmbito as incertezas de mercado com as incertezas técnicas, e, neste caso, estão em tela apenas as incertezas técnicas. Uma visão esquemática das opções deste projeto e da maneira como as opções se relacionam com as incertezas está

na Figura 3.6, e seguem a mesma linha de raciocínio apresentada na Figura 2.7. Na seção 4.1.3 estas relações serão mais exploradas.

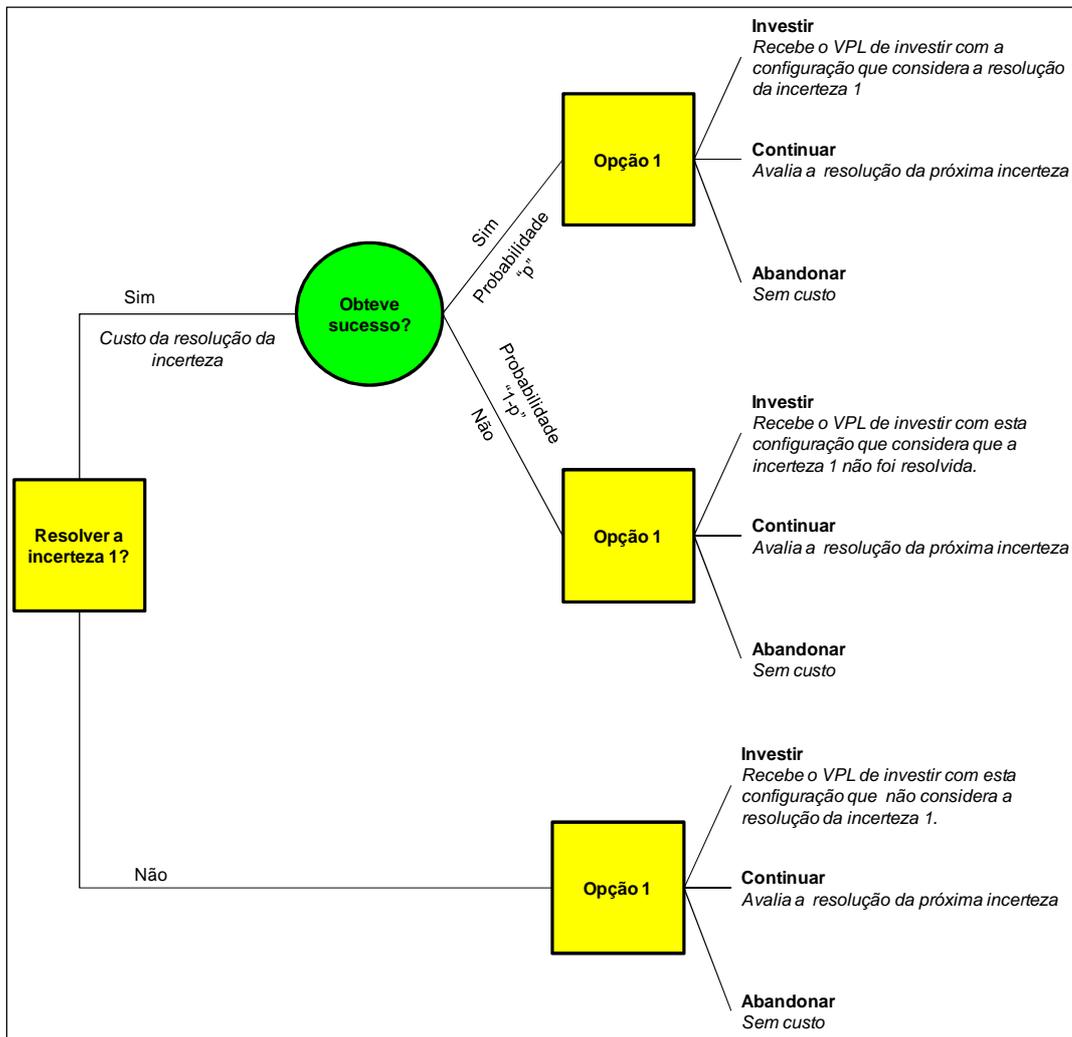


Figura 3.6: Relação das opções reais com as incertezas identificadas no projeto.