



## **PROGRAMA EQ-ANP**

**Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria  
do Petróleo e Gás Natural**



### **Avaliação Econômica da Produção de 1,3- Propanodiol a partir de Glicerina por via Biotecnológica**

**Roberto Braun Bouças Guimarães**

### **Projeto Final de Curso**

Orientador(es)

**Prof.<sup>a</sup> Maria Alice Zarur Coelho, D.Sc.**

**Prof.<sup>a</sup> Tatiana Felix Ferreira, D.Sc.**

**Maio de 2014**

# **Avaliação Econômica da Produção de 1,3-Propanodiol a partir de Glicerina por via Biotecnológica**

*Roberto Braun Bouças Guimarães*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente do Programa Escola de Química/Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria de Petróleo e Gás Natural, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Químico com ênfase na área de Petróleo e Gás Natural – Petroquímica.

Aprovado por:

---

Flávia Chaves Alves, Dsc.

---

Simone Alves, Dsc.

---

Rodrigo Volcan Almeida, Dsc.

Orientado por:

---

Maria Alice Zarur Coelho, Dsc.

---

Tatiana Felix Ferreira, Dsc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Maio de 2014

## FICHA CATALOGRÁFICA

Guimarães, Roberto Braun Bouças.

Avaliação Econômica da Produção de 1,3 Propanodiol a partir de Glicerina por via Biotecnológica. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2014.

Viii, 61 p.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2014.

Orientador(es): Maria Alice Zarur Coelho e Tatiana Felix Ferreira.

1. Avaliação econômica. 2. 1,3-propanodiol. 3. Glicerina. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Maria Alice Zarur Coelho e Tatiana Felix Ferreira.

I. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao apoio financeiro da **Agência Nacional do Petróleo – ANP** – e da **Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP** – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT, em particular ao **PRH 13**, da Escola de Química - Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico com ênfase na área de Petróleo e Gás Natural – Petroquímica.

## **Avaliação Econômica da Produção de 1,3 Propanodiol a partir de Glicerina por via Biotecnológica**

Roberto Braun Bouças Guimarães

Maio, 2014

Orientadores: Prof. Maria Alice Zarur Coelho, Dsc.  
Prof. Tatiana Felix Ferreira, Dsc.

O 1,3-propanodiol (PDO) é uma molécula orgânica bifuncional que tem várias propriedades promissoras e pode ser aplicado em cosméticos, detergentes, solventes, filmes, laminados, fluidos de transferência de calor, anticongelante, mas sua principal destinação atualmente é como monômero na cadeia produtiva de polímeros (poliéteres, poliésteres e poliuretanos). Dentro desta família destaca-se o poli(tereftalado de trimetileno) (PTT), um poliéster aromático linear produzido pela policondensação do 1,3-propanodiol com ácido tereftálico ou com o dimetil tereftalato. O PTT concentra maior volume de aplicação do PDO, sendo empregado principalmente na produção de fibras para a indústria têxtil, carpetes e vestuário. O presente trabalho propõe avaliar economicamente um processo de produção de 1,3-propanodiol por rota biotecnológica, utilizando glicerina bruta proveniente da produção de biodiesel. Para auxiliar este estudo serão levantados dados de produção, preço de venda e demanda interna do 1,3-propanodiol. O fluxograma esquemático do processo foi adaptado do estudo feita pela SRI Consulting, 1999. De forma direta o PDO ainda não possui grande volume comercializado, porém sua utilização como monômero para síntese de PTT vem aumentando. A situação atual do Brasil não justifica a instalação de uma planta de produção de PDO para atender a demanda interna deste produto, pois esta ainda é muito pequena e variável. Contudo, se o interesse é atender o mercado internacional, que apresenta crescente demanda de PDO, ou ainda, produzir PTT, que apresenta potencial demanda no mercado internacional, é possível a viabilização de uma unidade de produção de PDO no Brasil. Este projeto apresentou viabilidade econômica, com valor presente líquido positivo e consequentemente taxa interna de retorno acima da taxa mínima de atratividade escolhida. Entretanto, deve-se levar em conta o elevado risco associado a desenvolver este projeto por se tratar de uma tecnologia não existente, portanto, novos estudos devem ser feitos para elevar de forma gradual a escala do projeto, e então, ser capaz de melhorar a precisão dos valores estimados. É interessante destacar a grande sensibilidade que a taxa interna de retorno apresenta ao preço do PDO e ao investimento fixo, desta forma com pequenas oscilações destes o projeto seria inviabilizado.

Abstract of a Final Project presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Chemical Engineer with emphasis on Petroleum and Natural Gas – Petrochemical.

## **Economic Evaluation of Production of 1,3-Propanediol from Glycerol by Biotechnology path**

Roberto Braun Bouças Guimarães

May, 2014

Supervisors: Prof. Maria Alice Zarur Coelho, Dsc.  
Prof. Tatiana Felix Ferreira, Dsc.

The 1,3-propanediol (PDO) is a bifunctional organic molecule that has several promising properties and can be used in cosmetics, detergents, solvents, films, laminates, heat transfer fluids, antifreeze, but its main destination is currently as monomer in the production of chain polymers (polyethers, polyesters and polyurethanes). Distinguished within this family is Poly Trimethylene Terephthalate (PTT) a linear aromatic polyester produced by the polycondensation of 1,3-propanediol with terephthalic acid or the dimethyl terephthalate. The PTT focuses largest volume application of PDO, being used mainly in the production of fibers for textiles, carpets and clothing. This study proposes to assess the market for PDO produced by biotechnological processes and perform data collection of production, demand and price to support a proposed economic evaluation of PDO's plant in Brazil, also showing the schematic flow diagram to this process. The current situation in Brazil does not justify the installation of a plant for the production of PDO to meet the internal demand of this product, as this is still very small and variable. However, if the interest is to supply the international market, which has increased demand for PDO, or even produce PTT, with the potential demand in the international market, the production unit of PDO in Brazil is viable. This project presented economic feasibility, with positive Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) consequently above the hurdle rate chosen. However, we should take into account the high risk associated with developing this project because it is a non-existent technology, so further studies should be made to raise gradually the scale of the project and then be able to improve the accuracy of estimates. It is interesting to note how sensitive that the internal rate of return presents the price of PDO and fixed investment. Therefore, with small fluctuations in the price of PDO and fixed investment, the project would be unviable.

# ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>III.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
III.1.	MUDANÇA DO SETOR QUÍMICO .....	5
III.2.	DEFINIÇÃO DA INDÚSTRIA QUÍMICA .....	7
III.3.	CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS QUÍMICOS.....	8
III.3.1.	<i>Commodities</i> .....	9
III.3.2.	<i>Pseudocommodities</i> .....	9
III.3.3.	<i>Produtos de Química Fina</i> .....	9
III.3.4.	<i>Especialidades Químicas</i> .....	9
III.4.	PROJETOS NA INDÚSTRIA QUÍMICA .....	10
III.4.1.	<i>Ciclo de desenvolvimento de um projeto</i> .....	11
III.4.1.1.	<i>Pré investimento</i> .....	13
III.4.1.2.	<i>Investimento</i> .....	13
III.4.1.3.	<i>Fase operacional</i> .....	14
III.5.	ESTRUTURA DE UM PROJETO .....	14
III.5.1.	<i>Aspectos econômicos</i> .....	14
III.5.2.	<i>Aspectos Financeiros</i> .....	15
III.6.	DETERMINAÇÃO DA ESCALA DE UM PROJETO.....	16
III.6.1.	<i>Conceito de capacidade de produção do ponto de vista técnico</i> .....	17
III.6.2.	<i>Conceito de capacidade de produção do ponto de vista econômico</i> .....	18
III.6.3.	<i>Tamanho e Custos</i> .....	18
III.7.	PRODUÇÃO DE 1,3-PROPANODIOL POR FERMENTAÇÃO .....	20
III.7.1.	<i>Mircro-organismos produtores de 1,3-propanodiol</i> .....	20
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
IV.1.	ESTUDO DE MERCADO .....	21
IV.2.	DETALHAMENTO DO PROJETO .....	22
IV.2.1.	<i>Proposta de Fluxograma</i> .....	22
IV.2.2.	<i>Metodologia para estimar Investimento Total</i> .....	23
IV.2.3.	<i>Metodologia para estimar o custo dos equipamentos</i> .....	25
IV.2.3.1.	<i>Reatores</i> .....	25
IV.2.3.2.	<i>Tanque de Processo</i> .....	25
IV.2.3.3.	<i>Bomba</i> .....	26
IV.2.3.4.	<i>Compressor</i> .....	28
IV.2.3.5.	<i>Filtro</i> .....	29
IV.3.	ANÁLISE ECONÔMICA .....	30
IV.3.1.	<i>Custos Operacionais</i> .....	30
IV.3.2.	<i>Despesas operacionais</i> .....	32
IV.3.2.1.	<i>Despesas de Vendas</i> .....	32
IV.3.2.2.	<i>Despesas de P&amp;D</i> .....	32
IV.3.2.3.	<i>Despesas Administrativas</i> .....	32
IV.3.3.	<i>Receita</i> .....	32
IV.3.4.	<i>Critérios Quantitativos de Análise Econômica de Projetos</i> .....	32
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
V.1.	ESTUDO DE MERCADO .....	35
V.1.1.	<i>Análise Preliminar de Mercado</i> .....	35
V.1.2.	<i>Resultados e discussão</i> .....	37
V.2.	DETALHAMENTO DO PROJETO .....	41
V.2.1.	<i>Proposta de Fluxograma</i> .....	41
V.2.2.	<i>Orçamento detalhado</i> .....	47
V.3.	ANÁLISE ECONÔMICA .....	50
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de desenvolvimento do projeto.....	12
Figura 2 Representação do Ciclo de Batelada da seção de bioconversão em regime estacionário. ....	22
Figura 3: Gráfico que relaciona o fator de forma (BHp) ao preço de compra, sem levar em conta o motor da bomba. ....	26
Figura 4: Gráfico relaciona o fator de forma (BHp) ao preço de compra, sem levar em conta o motor da bomba. ....	27
Figura 5:Gráfico que relaciona preço de compra de três tipos de compressor com seu fator de forma, potência (Hp). ....	28
Figura 6: Evolução da quantidade importada de PDO e os dispêndios com a importação no período de 1999 a 2012.....	38
Figura 7: Fluxograma da unidade de bioconversão de glicerol a 1,3-propanodiol.....	43
Figura 8: Fluxograma de uma unidade de secagem, isolamento e purificação de 1,3-propanodiol. ....	46
Figura 9: Gráfico ilustrativo do preço FOB/kg praticado do PDO no mercado. ....	52
Figura 10: Tempo de recuperação de capital.....	55
Figura 11: Análise de sensibilidade. ....	56



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Os cinco tipos de estimativas e suas precisões sugeridas. ....	23
Tabela 2: Fatores de Lang .....	24
Tabela 3: Relação do fator multiplicativo com o material da bomba e o custo do motor com a potência .....	28
Tabela 4: Classificação dos custos de produção .....	30
Tabela 5: Propriedades físicas relacionadas a plástico de engenharia. ....	39
Tabela 6: Propriedades físicas relacionado a fibra do PET , PA e PTT. ....	40
Tabela 7: Possível substituição técnica de PET, PA e PBT por PTT em aplicações de plásticos de engenharia e fibras. ....	40
Tabela 8: Parâmetros arbitrados no projeto e variáveis obtidas a partir de dados experimentais em escala laboratorial. ....	42
Tabela 9: Relação de equipamentos da unidade de fermentativa representada no fluxograma. ....	44
Tabela 10: Orçamento dos reatores. ....	47
Tabela 11: Orçamento dos Tanques de processo. ....	47
Tabela 12: Orçamento das Bombas.....	48
Tabela 13: Orçamento do compressor. ....	49
Tabela 14: Custos dos equipamentos por seção do processo .....	49
Tabela 15: Resumo dos valores computados do investimento para uma planta produtora de PDO com capacidade de 2 Kta situada no Brasil.....	50
Tabela 16: Resumo dos custos variáveis do projeto. ....	51
Tabela 17: Custos Fixos estimados no projeto. ....	51
Tabela 18: Fluxo de Caixa do Projeto. ....	53
Tabela 19: Resultados do VPL e TIR do projeto. ....	54

**I. INTRODUÇÃO**

O setor de biotecnologia industrial está passando por uma fase dinâmica com muitas empresas aumentando sua produção e passando de unidades piloto para escalas comerciais. Mas a eficiência dos processos de conversão biológica permanece relativamente baixa, e mais avanços tecnológicos serão necessários antes que o setor possa alcançar seu pleno potencial (JAGGER, 2012).

Os biocombustíveis de 1ª geração, como o etanol (obtido da cana-de-açúcar), e o biodiesel (obtido de óleos e gorduras), estão entre as mais importantes alternativas energéticas consideradas para substituir combustíveis derivados do petróleo. Os biocombustíveis também podem, direta ou indiretamente, contribuir para o desenvolvimento de novos processos para a produção de intermediários químicos. Um exemplo é a produção de plásticos a partir do etanol (denominado “polietileno verde”), cuja primeira fábrica mundial foi inaugurada em 2010 na cidade de Triunfo, RS, Brasil, pela Braskem®, com capacidade para produzir 200 mil t/ano. Este é apenas um exemplo da denominada química verde que busca utilizar matérias-primas renováveis e cujos métodos de produção são capazes de reduzir os impactos ambientais. O glicerol, um subproduto das indústrias de biodiesel, pode ser convertido em diversos intermediários químicos de valor industrial, tanto por síntese química, quanto por conversão biotecnológica. A conversão microbiana do glicerol apresenta vantagens em relação às sínteses químicas, como por exemplo, requer menor número de etapas, emprega temperaturas medianas e pressão ambiente, não gera intermediários tóxicos e geralmente são obtidos isômeros opticamente puros. O 1,3-propanodiol (PDO), um intermediário químico obtido a partir da fermentação do glicerol, tem despertado maior interesse nos últimos anos (SILVA *et al.*, 2013).

O PDO é uma molécula orgânica bifuncional que tem várias propriedades promissoras e pode ser aplicado em cosméticos, detergentes, solventes, filmes, laminados, fluídos de transferência de calor, anticongelante, mas sua principal destinação atualmente é como monômero na cadeia produtiva de polímeros (poliéteres, poliésteres e poliuretanos) dentro desta família destaca-se o poli(tereftalado de trimetileno) (PTT), um poliéster aromático linear produzido pela policondensação do 1,3-propanodiol com ácido tereftálico ou com o dimetil tereftalado (BROWN *et al.*,

2000). O PTT concentra maior volume de aplicação do PDO, sendo empregado principalmente na produção de fibras para a indústria têxtil, carpetes e vestuário.

Como um termoplástico de engenharia, o PTT possui muitas propriedades interessantes, combinando rigidez, força e resistência ao calor comum ao poli(tereftalado de etileno) (PET), com a boa processabilidade do poli(tereftalado de Butileno) (PBT). O PTT pode ser usado para produzir fibras para carpetes e vestuário onde possui boa resiliência e resistência ao uso, como apresentado pelo nylon (poliamidas) e apresenta boa capacidade de tingimento, resistência estática e química como apresentam as fibras de PET. Seu uso pode ser realizado ainda como aditivo em outras resinas para melhorar sua resistência, flexibilidade e aumentar sua propriedade de barreira (SHEN *et al.*, 2009).

O PTT foi sintetizado pela primeira vez em 1941. No início da década de 60, a empresa Shell tentou comercializar o PTT de fonte petroquímica, mas não obteve sucesso, devido ao alto custo do PDO produzido pela hidratação da acroleína. Portanto, enquanto PET e PBT tornaram-se polímeros comerciais de sucesso, o PTT, apesar de possuir boa resistência física e química e um potencial enorme de aplicabilidade, não foi comercializado. Sua retomada de produção ocorreu na década de 90, desta vez a Shell usou um processo contínuo de hidroformilação do óxido de etileno com um custo benefício economicamente melhor. O PTT produzido pela Shell com o nome comercial de Corterra foi comercializado em 1995. Em 2001, houve uma *joint venture* da Shell com a SGF Chimie JV, para produzir PTT (ainda de fonte petroquímica) em larga escala, cerca de 95 milhões de Kg por ano de capacidade instalada em Montreal, Canada; esta planta começou a operar em novembro de 2004 (SHEN *et al.*, 2009) e suas atividades foram encerradas no final de 2009 pela baixa demanda do PTT de fonte petroquímica (CHEMICALS-TECHNOLOGY, 2013).

Existem três rotas industriais para obtenção do 1,3-propanodiol: hidratação da acroleína seguido por hidrogenação; hidroformilação e hidrogenação do óxido de etileno e uma rota fermentativa a partir de glicose. Porém, atualmente somente a rota biotecnológica é utilizada para fins comerciais (JAGGER, 2012).

Os elevados custos de produção do PDO alcançados pelas rotas petroquímicas, as primeiras a serem desenvolvidas, limitavam fortemente o uso dos derivados de 1,3-propanodiol, motivo pelo qual a empresa Dupont em parceria com a Genecor desenvolveu uma bactéria capaz de converter glicose a PDO (BioPDO) em aerobiose

(NAKAMURA & WHITED, 2003). Esta nova rota biotecnológica consome 40% menos energia quando comparada as outras e reduz em cerca de 20% os gases de efeito estufa, impactando na redução do custo de produção e promovendo um aumento na fatia de mercado de todos os seus derivados. Esses fatos são comprovados pela ampliação do parque industrial do BioPDO realizada pela Dupont que começou em novembro de 2006 com capacidade instalada de 45.000 toneladas por ano e em 2011 sofreu uma ampliação de 35% atingindo a capacidade de 60.000 toneladas por ano (DUPONT & TATE LYLE).

No Brasil, não há plantas de produção de PDO por via biotecnológica (ABIQUIM), porém existe grande interesse de algumas empresas como a PETROBRAS, que tem investido no desenvolvimento de tal processo, utilizando como fonte de matéria-prima o glicerol excedente da produção de biodiesel.

Desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 5% de biodiesel. Esta regra foi estabelecida pela Resolução nº 6/2009 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, com uma produção anual, em 2010, de 2,4 bilhões de litros e uma capacidade instalada, no mesmo ano, de cerca de 5,8 bilhões de litros. O biodiesel é um combustível produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais. Dezenas de espécies vegetais presentes no Brasil podem ser usadas na produção do biodiesel, entre elas soja, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona e pinhão-mansão (ANP, 2012).

Entretanto, o aumento decorrente da produção de biodiesel no Brasil há inevitavelmente o aumento de produção de glicerina, que em 2010 foi de cerca de 256 milhões de litros, cerca de 12% do volume de Biodiesel gerado no mesmo ano, esta enorme produção de subproduto formada mostra-se um desafio para os pesquisadores que buscam encontrar arduamente uma forma de agregar valor a esta glicerina bruta.

## **II. OBJETIVOS**

O presente trabalho propõe realizar uma avaliação econômica de uma planta no Brasil produtora de 1,3-propanodiol de origem biotecnológica, utilizando a glicerina excedente da produção nacional de biodiesel. Para auxiliar esta proposta, será realizado um levantamento do mercado de PDO produzido por via biotecnológica para extrair dados de produção, demanda e preço, ilustrando também o fluxograma esquemático do processo em batelada alimentada adaptado do estudo feito pela SRI Consulting, 1999.

### III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### III.1. Mudança do Setor Químico

Desde o começo do século XXI, a economia mundial enfrenta novos desafios. Um dos principais deles tem relação com o impressionante crescimento das economias emergentes, com destaque para China e Índia, em contraste com ritmo mais modesto das economias desenvolvidas, o que tem reflexos na expressiva demanda por matérias-primas e energia. Outro desafio corresponde à forma de coordenar a expansão da produção global com altos e voláteis preços do petróleo e o esgotamento de reservas e a preocupação mundial sem precedentes com danos ambientais e compromissos de redução de gases de efeito estufa. O enfrentamento das questões ambientais depende principalmente do ritmo da inovação e do progresso tecnológico, que tem estado fortemente condicionado por esses desafios. Com o surgimento de novas tecnologias baseadas em recursos renováveis, diversos países têm empregado o conceito de biorrefinaria, arquétipo de uma nova economia verde ou ambientalmente correta (BASTOS, 2012).

Nas biorrefinarias, seriam produzidos biocombustíveis, energia e produtos químicos de base renovável. Muitas das inovações nas biorrefinarias teriam origem em plataformas da biotecnologia industrial, originadas de empresas de base tecnológica, *start-ups* americanas. Tais firmas, ainda que tenham forte base científica, são inexperientes em plantas de produção industrial e carentes de capacidade financeira. Até recentemente, fundos de capital de risco (*venture capital*) constituíram importante base de *funding* das empresas de biotecnologia. No entanto, as biorrefinarias têm características muito distintas de outras indústrias que têm estado fortemente baseadas na biotecnologia, como a produção de biofármacos. Nas biorrefinarias, são produzidas, em geral, *commodities*, como os biocombustíveis, com padrão de competição por preços (ao contrário de fármacos, em que a competição é por inovação e diferenciação). Além disso, por questões de escala, as biorrefinarias exigem atividades de escalonamento (*scaling-up*) de plantas, com implicações importantes relativas a porte, gastos e estrutura de pesquisa e desenvolvimento, envolvendo até mesmo unidades de demonstração, dentro do conceito moderno (BASTOS, 2012).

Embora a obtenção de biocombustíveis e produtos químicos a partir de biomassa tenha precedentes históricos, observa-se um movimento global recente para substituir produtos atualmente derivados do petróleo (combustíveis líquidos e petroquímicos) por equivalentes provenientes de fontes renováveis de matérias-primas, notadamente a biomassa vegetal. Segundo IEA (2012), o mercado de produtos químicos derivados da biomassa em 2010 foi de aproximadamente US\$ 2,4 bilhões. O International Energy Agency (IEA) estima que esse mercado em 2015 será de US\$ 6,8 bilhões, um crescimento médio de 22,8% ao ano no período analisado. Pelo lado da demanda, diversos fatores podem ser vistos como determinantes do interesse crescente pela utilização de matérias-primas renováveis. Como principais fatores, podem ser citados: (i) o potencial da biotecnologia industrial ou *white biotechnology*; (ii) as restrições ambientais ao uso de matérias-primas fósseis; (iii) a orientação das estratégias empresariais; e (iv) a perspectiva da inovação tecnológica como saída de crise. Tais vetores sugerem a perspectiva de peso relevante da atividade de conversão de biomassa em bioprodutos na indústria do século XXI (CRUZ *et al.*, 2013).

Diante de uma demanda percebida, uma oferta encontra-se em formação. Um novo setor industrial se modela, com características estruturais distintas da tradicional petroquímica. Sua dinâmica de concorrência é orientada pela inovação em um ambiente de elevado nível de incertezas. A estrutura industrial do setor sequer pode ser definida, conduzindo a uma característica de setor emergente, ainda em fase fluida. Algumas características que justificam essa indefinição estrutural podem ser destacadas. Em primeiro lugar, o grande número de projetos inovadores em competição propondo soluções diferentes, em resposta aos estímulos da demanda. Tais projetos apresentam grande dinamismo no que se refere tanto às novas propostas criativas como a suas taxas de mortalidade. Em segundo, destaca-se a incorporação de novas bases de conhecimento, em particular a biotecnologia avançada, como ferramenta fundamental para o desenvolvimento desses projetos. Em terceiro lugar, percebe-se o surgimento de inúmeras empresas emergentes de base tecnológica, apoiadas por recursos públicos (*grants*) e por volumes expressivos de investimentos do tipo *venture capital*, além da participação de empresas estabelecidas de diversos setores industriais. Finalmente, o potencial processo de mudança de matérias-primas pode gerar incertezas e possíveis transformações na indústria atual, uma vez que matéria-prima é fator estruturante no setor químico. É comum que esse setor em construção seja confundido com a

denominação mais ampla “química verde”. Química verde é entendida de forma restrita como a química baseada em matérias-primas renováveis. O processo de inovação em curso, que busca o desenvolvimento de uma indústria baseada em matérias-primas renováveis, faz parte de um movimento mais amplo que costuma ser designado como bioeconomia ou indústria dos produtos bioderivados (*biobased industry*). Em razão da elevada base instalada na indústria global vigente e das incertezas tecnológicas e de mercado que existem para o desenvolvimento de uma nova indústria, como o caso da transição de combustíveis fósseis e petroquímicos para uma indústria baseada em fontes renováveis, observa-se um esforço público destinado a criar incentivos aos agentes de mercado (CRUZ *et al.*, 2013).

### **III.2. Definição da Indústria Química**

O estudo da indústria química deve ser precedido de uma concreta definição de quais produtos ou atividades nela estão incluídos. Infelizmente as definições adotadas pelos estudiosos do setor ou pelas associações ou regionais da indústria química não são homogêneas. Para o conjunto da indústria de transformação existem duas famílias de classificações: uma baseada em atividades e outra baseada em produtos. As classificações de atividades foram estabelecidas para permitir a coleta, disseminação e análise de estatísticas econômicas. As classificações por atividade mais utilizadas são a SIC (*Standard Industrial Classification*) adotada pelo Departamento de comércio dos Estados Unidos, a ISIC (*International Standard Industrial Classification of All Economic Activities*) adotada pelas Nações Unidas e a NACE (*Nomenclature des Activités dans les Communautés Européennes*) adotada pela comunidade Econômica Européia. O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) adota a CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas (WONGTSCHOWSKI, 1999).

As classificações por produto como a CPC (*Central Product Classification*), adotada pelas Nações Unidas e a NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul), adotada pelo Brasil e demais países do Mercosul, são utilizadas principalmente para efeitos tributários (definições de alíquotas do IPI no caso brasileiro) e para efeitos aduaneiros (definição de TEC – Tarifa Externa Comum, no caso do Mercosul). A classificação CPC separa os produtos químicos em duas grandes divisões, a primeira de produtos químicos básicos (incluindo fertilizantes e pesticidas) e a segunda de outros produtos



químicos (incluindo tintas e vernizes, produtos farmacêuticos, sabões e produtos de limpeza, fibras artificiais e sintéticas); não inclui transformados de plástico e borracha. A classificação CNAE adota uma definição ampla de indústria química, incluindo a fabricação de produtos farmacêuticos, fibras artificiais e sintéticas, tintas e vernizes, fertilizantes, sabões e cosméticos; não inclui transformados plásticos e produtos de borracha. A classificação ISIC, que serviu de base para revisão da CNAE brasileira, igualmente divide a manufatura de produtos químicos em três grupos: manufatura de produtos químicos básicos (incluindo fertilizantes), manufatura de outros produtos químicos (incluindo tinta e vernizes, produtos farmacêuticos, sabões e cosméticos) e manufatura de fibras artificiais e sintéticas; exclui transformados de borracha e plástico.

Para a Abiquim, a indústria química compõe-se do segmento “Produtos Químicos Industriais” e dos segmentos de produtos farmacêuticos, material de limpeza e cosméticos, adubos e fertilizantes, tintas e vernizes, defensivos agrícolas, fibras artificiais e sintéticas, gases industriais, produtos fotoquímicos e “outros produtos químicos” (WONGTSCHOWSKI, 1999).

Em conclusão, informações numéricas relativas à indústria química devem ser analisadas com a devida cautela, considerando sempre a classificação adotada por cada informante. Apesar da aparente confusão, exceto a questão relativa à inclusão ou não de transformados plásticos e de borracha e de fibras artificiais e sintéticas, as classificações são muito semelhantes. Diferenças existem, mas não são, no agregado, estatisticamente relevantes (WONGTSCHOWSKI, 1999).

### **III.3. Classificação dos Produtos Químicos**

Uma das classificações mais adotadas para os produtos químicos é a que define quatro grupos: *commodities*, *pseudocommodities*, produtos de química fina e especialidades químicas. Essas classes evidentemente não têm limites rígidos, podendo alguns compostos pertencerem a uma ou outra classe, em função das quantidades produzidas. É o caso por exemplo, de certos adesivos, elastômeros, plásticos de engenharia e tensoativos que, se produzidos em larga escala, são considerados *commodities* ou *pseudocommodities* e, se produzidos em pequenas quantidades, são especialidades químicas. As características principais de cada grupo são:

### ***III.3.1. Commodities***

São compostos químicos produzidos em larga escala, frequentemente a partir de matéria prima cativas, com especificações padronizadas, para uma gama variada de usos. Normalmente as *commodities* têm suas vendas concentradas em um número relativamente pequeno de clientes. São exemplos de *commodities*: amônia, ácido sulfúrico, eteno, metanol e gases industriais (WONGTSCHOWSKI, 1999).

### ***III.3.2. Pseudocommodities***

São produtos diferenciados, que têm em comum com as *commodities* serem produzidos em larga escala, a partir de matérias primas em geral cativas, quase sempre compradas por poucos clientes que são grande consumidores. Diferenciam-se das *commodities* por não serem vendidas através de especificações de sua composição química, mas sim por especificações de desempenho, para uma ou mais finalidades. Alguns exemplos de *pseudocommodities*: resinas termoplásticas, fibras artificiais e elastômeros (WONGTSCHOWSKI, 1999).

### **III.3.3. Produtos de Química Fina**

Assemelham-se às *commodities* por serem não diferenciados e geralmente não patenteados. Entretanto, são produzidos em pequena escala, para um ou mais usos finais, de acordo com padrões geralmente aceitos, do tipo "U.S Pharmacopeia" ou "Food Chemical Codex" dos Estados Unidos ou seus equivalentes em outros países. São exemplos: ácido acetil salicílico, sacarina, aromatizantes e fármacos (WONGTSCHOWSKI, 1999).

### **III.3.4. Especialidades Químicas**

São produtos diferenciados, fabricados em pequenas quantidades, geralmente como matérias primas compradas de terceiros, projetados para finalidades específicas do cliente e frequentemente vendidos para grande número de clientes que compram

pequenas quantidades. São exemplos: biocidas, catalisadores, corantes, enzimas, aditivos, especialidades para cosméticos entre outros (WONGTSCHOWSKI, 1999).

### **III.4. Projetos na Indústria Química**

Atualmente, as atividades industriais são muito mais intensas do que a décadas atrás, surgindo frequentemente uma série de indústrias no setor químico. Contudo, antes da implementação de uma unidade industrial é necessário realizar um projeto para se estudar as atividades a serem desenvolvidas. O projeto tem por objetivo analisar técnica e economicamente as etapas constituintes do processo em questão.

Entendemos por projeto o conjunto de informações internas e/ou externas à empresa, coletadas e processadas com o objetivo de analisar-se (e, eventualmente, implantar-se) uma decisão de investimento. Nestas condições, o projeto não se confunde com as informações, pois ele é entendido como sendo um modelo que, incorporando informações qualitativas e quantitativas, procura simular a decisão de investir e suas implicações (WOILER & MATHIAS, 1991).

O projeto de viabilidade é um conjunto de estudo e análise, ou seja, é um projeto que procura verificar a viabilidade a nível interno da própria empresa. Quando surge a idéia (ou a oportunidade) de investir, começa o processo de coleta e processamento de informações que, devidamente analisados, permitirão testar a viabilidade. Fica claro, então, que a empresa deve elaborar vários projetos de viabilidade desde a idéia inicial até a decisão de investir (WOILER & MATHIAS, 1991).

De maneira geral, pode-se verificar que os gastos com os estudos de viabilidade são os menores de todos os custos de investimento. Entretanto, o estudo de viabilidade é de vital importância para a decisão de investir. Isto ocorre não só ao se analisar e selecionar as oportunidades de investimento que sejam mais convenientes, como também ao se evitarem investimentos antieconômicos e ou mal dimensionados. Além disso, como já se observou, a decisão estratégica de investimento apresenta-se como pouco flexível, de difícil reversão, de impacto demorado no tempo, requerendo grandes volumes de recursos. Deve-se acrescentar que as decisões tomadas nesta fase de viabilidade irão influir sobre toda a vida útil da empresa, de modo que o grau de liberdade operacional tende a ser muito menor (ou seja, uma administração operacional

bem executada pode não ser capaz de compensar pelos erros de projeto). Este fato tende a ser mais importante em função de setores que são intensivos de capital, como os setores de siderurgia, papel e celulose, cimento, química, etc. (WOILER & MATHIAS, 1991).

### **III.4.1. Ciclo de desenvolvimento de um projeto**

O ciclo de desenvolvimento de um projeto compreende o pré investimento, o investimento e a fase operacional. Cada um destas três fases principais é dividida em estágios, alguns dos quais constituem atividades industriais importantes, como representado na Figura 1, adaptado de UNIDO, 1978.

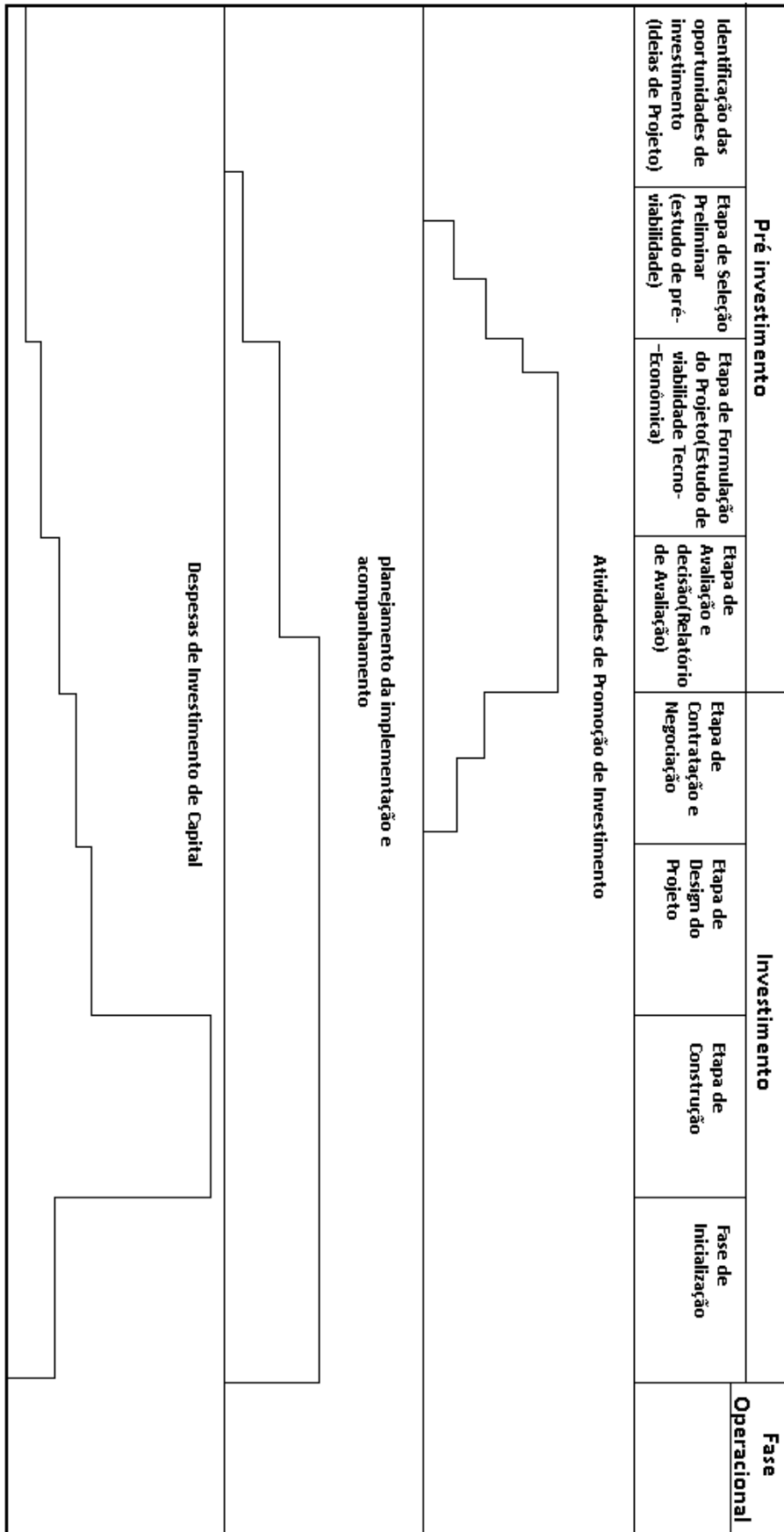


Figura 1: Ciclo de desenvolvimento do projeto.

#### **III.4.1.1. Pré investimento**

A fase de pré investimento, compreende diversos estágios: Identificação das oportunidades (estudo de oportunidades); análises de alternativas de projeto e seleção preliminar do projeto, bem como a preparação do projeto ( estudo de pré-viabilidade e de viabilidade); avaliação de projeto e decisão de investir. Estudos funcionais ou de apoio são também considerados no estágio de preparação do projeto e usualmente são conduzidos separadamente, para incorporar o estudo de viabilidade posteriormente. O desenvolvimento do projeto através de vários estágios também facilita a promoção do investimento e fornece uma base melhor para a tomada de decisão e implementação por tornar o processo mais transparente (UNIDO, 1978).

#### **III.4.1.2. Investimento**

A fase de investimento ou de implementação do projeto oferece ampla gama de trabalho em serviços de consultoria e engenharia, principalmente no campo de gerenciamento do projeto. A fase de investimento pode ser dividida nos seguintes estágios: (UNIDO, 1978).

- Estabelecimento as bases legais, financeiras e organizacionais para a implantação do projeto.
- Aquisição e transferência de tecnologia, incluindo engenharia básica, avaliação de licitações e negociação.
- Aquisição do sítio e trabalho de construção e instalação.
- Negociação dos produtos e também dos suprimentos.
- Recrutamento e treinamento de pessoal.
- Comissionamento da planta e partida.

### **III.4.1.3. Fase operacional**

Os problemas da fase operacional precisam ser considerados a partir de um ponto tanto de curto quanto de longo prazo. No ponto de vista em curto prazo a abordagem é feita com relação ao período inicial depois do começo da produção, quando o número de problemas tem maior chance de surgir sobre assuntos como a aplicação de técnicas de produção, operação de equipamentos ou produtividade do trabalho inadequada bem como a falta de pessoal qualificado. Quase todos esses problemas devem, no entanto, ser considerados em relação à fase de implementação. O ponto de vista em longo prazo relaciona, por um lado, o custo de operação e por outro lado a receita das vendas. Estas variáveis tem relação direta com as projeções feitas na etapa de pré-investimento do projeto. Se tais projeções provarem-se falhas, a viabilidade técnica-econômica da atividade industrial será inevitavelmente prejudicada e se tais deficiências são identificadas apenas na fase operacional, medidas corretivas não serão apenas difíceis de serem implementadas, mas, também altamente custosas. Abaixo é ilustrado o ciclo de desenvolvimento do projeto (UNIDO, 1978).

## **III.5. Estrutura de um Projeto**

Ao se estruturar um projeto alguns aspectos são considerados como parâmetros para o estudo. Estes aspectos encontram descritos a seguir.

### **III.5.1. Aspectos econômicos**

#### **III.5.1.1. Mercado**

Pode ser que a oportunidade de investimento tenha surgido em virtude da análise de mercado. De qualquer modo, são os elementos fornecidos pela análise de mercado que determinarão de modo fundamental muitas das características do projeto.

Quantidade demandada, preço de venda, canais de distribuição (e a formação de estoques nestes canais), descontos etc., tornam a análise de mercado um dos primeiros aspectos a serem considerados no projeto (WOILER & MATHIAS, 1991).

### **III.5.1.2. Localização**

O passo seguinte é procurar o local ideal para situar a alternativa de investimento em pauta.

A escolha da localização dependerá de diversos fatores, tais como o mercado, a escala pretendida, considerações técnicas etc. Além disso, será muito importante analisar a disponibilidade local dos diversos bens de produção intermediários tais como mão de obra, energia, matérias primas e as condições ambientais como: controle de poluição, restrições ao uso da terra, clima, resistência do solo etc. (WOILER & MATHIAS, 1991).

### **III.5.1.3. Escala**

A escala de produção irá depender, entre outros fatores, do estudo do mercado, da localização e dos aspectos técnicos. A existência de economias de escala pode ser um aspecto determinante na escolha de determinada capacidade de produção (WOILER & MATHIAS, 1991).

Pode ser também que considerações de engenharia do projeto e/ou que o desenvolvimento esperado da tecnologia venham a influir bastante na seleção de certo tamanho de fábrica. Isto será muito importante em setores e/ou processos cuja tecnologia de produção ainda não se encontre madura (WOILER & MATHIAS, 1991).

## **III.5.2. Aspectos Financeiros**

### **III.5.2.1. Composição de capital**

Neste aspecto são analisadas as diferentes opções que existem para compor o capital a ser investido no projeto. Simplificadamente, o que se procura é determinar a composição do capital próprio e de terceiros (WOILER & MATHIAS, 1991).

A restituição e/ou remuneração do capital alheio deverá ser levada em conta nas projeções. Por seu lado, o custo da remuneração das diversas fontes (ou seja, o custo do capital) é um elemento importante a ser considerado na análise do projeto (WOILER & MATHIAS, 1991).



### **III.5.2.2. Financiamento**

Nesta parte são analisados as alternativas de empréstimo. Procura-se determinar, entre as fontes de empréstimo disponíveis, áqueas que apresentam maior conveniência e/ou que otimizam a rentabilidade do projeto (WOILER & MATHIAS, 1991).

O volume de capital emprestado, em geral, é um aspecto de grande relevância para determinar o total de investimento a ser feito em certo projeto. O mesmo pode ser dito com relação ao cronograma de desembolsos dos recursos, ou seja, o próprio prazo de implementação de determinado projeto. (WOILER & MATHIAS, 1991).

### **III.5.2.3. Capital de giro**

A análise financeira das fontes e aplicações do dinheiro em giro permitirá que se determine o capital de giro próprio. Este, sendo um investimento a ser feito, deverá ser incluído nos desembolsos do projeto (WOILER & MATHIAS, 1991).

## **III.6. Determinação da Escala de um Projeto**

Determinar o tamanho, ou seja, a capacidade de produção a ser instalada é uma questão de grande importância para a empresa. Uma fábrica de grande capacidade pode representar um potencial de bons lucros, se houver economia de escala e se a demanda para o produto crescer a uma taxa elevada. Mas pode representar um desastre para a empresa se a demanda crescer a uma taxa modesta (WOILER & MATHIAS, 1991).

Por outro lado, a empresa poderá implantar uma fábrica menor, prevendo uma ampliação para a hipótese de a demanda crescer a taxas elevadas. Se isto ocorrer, a concorrência pode entrar, reduzindo o potencial de lucros e, por sua vez, a própria empresa terá custos maiores com a ampliação do que se já tivesse feito uma fábrica grande de uma só vez (WOILER & MATHIAS, 1991).

Uma razão para que o problema da capacidade de produção seja relegado a plano secundário é o fato de a sua solução depender da predeterminação dos demais elementos do projeto, tais como mercado, localização, custos de produção etc. Ou seja, a determinação da capacidade adequada a ser instalada dependerá de um processo de aproximações sucessivas. Como este processo pode ser trabalhoso e caro, é necessário

que seja abordado com critério, isto é, que haja um adequado balanceamento entre os custos de elaboração e análise e o volume de investimentos envolvidos (WOILER & MATHIAS, 1991).

O tamanho da fábrica (ou de determinado processo) é a capacidade de produção que pode ser atingida pela mesma quando em operação durante um período de tempo normal, do ponto de vista técnico e econômico (WOILER & MATHIAS, 1991).

Como o conceito de capacidade é diferente segundo a ótica técnica e econômica, a definição dada só fica completa quando se analisam os dois pontos de vista.

### **III.6.1. Conceito de capacidade de produção do ponto de vista técnico**

Do ponto de vista técnico ou da engenharia, a capacidade de produção que define o tamanho do processo é a máxima produção que pode ser obtida com determinado processo (ou equipamento) durante dado intervalo de tempo. Neste sentido, o técnico separa o conceito de capacidade nominal do conceito de capacidade efetiva (WOILER & MATHIAS, 1991).

A capacidade nominal ( $C_n$ ) é a capacidade teórica que seria obtida caso todos os equipamentos funcionassem de modo eficiente. Como existem interrupções e/ou perdas de eficiência devidas a (WOILER & MATHIAS, 1991):

- Mão de obra destreinada, incapaz de operar os equipamentos adequadamente;
- Paradas obrigatórias para fazer face reparos e/ou manutenções etc.

O que se verifica é que a capacidade efetiva ( $C_e$ ) do processo de produção é, em geral, bem menor que a capacidade nominal dada. Define-se então um nível de utilização ( $N_u$ ) como sendo:

$$N_u = \frac{C_e}{C_n}$$

Este índice é o que deve ser usado para a determinação do potencial de oferta de determinado setor (WOILER & MATHIAS, 1991).

### **III.6.2. Conceito de capacidade de produção do ponto de vista econômico**

Do ponto de vista econômico, a capacidade de produção que define o tamanho do processo é o nível de produção, que corresponde ao custo unitário médio de produção que seja mínimo. É evidente que este nível de produção de custo mínimo pode ser considerado sob o critério de custos de produção de curto ou de longo prazo. Deve-se considerar também o fato de que o conceito de custo de produção econômico difere do conceito contábil (WOILER & MATHIAS, 1991).

A grande dificuldade que este critério econômico apresenta é a sua difícil mensuração. Este é o principal motivo pelo qual o ponto de vista técnico tem sido mais utilizado nos projetos para a indicação do tamanho (WOILER & MATHIAS, 1991).

Além dos critérios apontados, podem ser utilizados outros critérios para medir o tamanho. Tais critérios podem ser menos precisos, mas têm a vantagem de ser de fácil compreensão e, as vezes, são os únicos para os quais se têm dados disponíveis. Assim, o tamanho pode ser medido através dos indicadores seguintes (WOILER & MATHIAS, 1991):

- Número de empregados totais e/ou número de operários ligados à produção;
- Número de fusos (para o caso do setor têxtil);
- Volume de faturamento;
- Total do capital empregado e/ou valor do patrimônio líquido;
- Valor total adicionado pela empresa;
- Volume (ou peso) de matéria prima consumida etc.

### **III.6.3. Tamanho e Custos**

Os custos podem ser classificados como de curto e longo prazo. No curto prazo tem-se que a fábrica apresenta:

- Custos fixos: São os custos que não variam em função do volume de produção;
- Custos variáveis: São os custos que dependem do volume de produção. o (WOILER & MATHIAS, 1991).

Os custos totais, evidentemente, correspondem à soma dos custos fixos com os variáveis para cada volume de produção.

No longo prazo, todos os custos são variáveis, uma vez que podem ser instaladas fábricas de diferentes tamanhos.

Do ponto de vista econômico restrito, pode-se dizer que as economias de escala são devidas à maior divisão e especialização do trabalho. Outra causa pode ser o menor custo unitário na aquisição e no transporte de matérias primas e outros insumos que são feitos em grandes quantidades e/ou volumes (WOILER & MATHIAS, 1991).

Do ponto de vista técnico, as economias podem ocorrer pelo uso tecnologia mais avançada. Pode ser também que o aumento na potência e/ou nas capacidades não seja proporcional ao custo de fazer os equipamentos maiores, por exemplo, pode ser mais barato fazer um motor de 2000 H.P. do que um motor de 1000H.P. Isto pode ocorrer também em equipamentos cilíndricos ou esféricos, em que a produção é proporcional ao volume e o custo do equipamento é proporcional à área do mesmo. É com base nesta consideração que os engenheiros elaboraram uma regra aproximada para estimar os aumentos do custo dos equipamentos com os aumentos de capacidade (WOILER & MATHIAS, 1991):

$$C2 = C1 * \frac{x2^{0,6}}{x1^{0,6}}$$

Onde: C1 e C2 são os custos, x1 e x2 são as capacidades do mesmo equipamento em tamanhos diferentes ( $x2 > x1$ ).

Esta fórmula é conhecida como “regra do 0,6”, sendo disponíveis na literatura especializada coeficientes diferentes em função do equipamento e/ou processo, principalmente na indústria química e petroquímica (WOILER & MATHIAS, 1991).

Outra razão técnica para que ocorram economias de escala é o fato de se poder ter uma melhor utilização de equipamentos indivisíveis (ou seja, equipamentos que só são produzidos para operar em escalas predeterminadas pelos fabricantes). Pode ser também que à maior escala estejam associadas maiores economias e/ou rendimentos como: menores perdas, maior padronização, melhor uso dos subprodutos etc. (WOILER & MATHIAS, 1991).

### III.7. Produção de 1,3-propanodiol por fermentação

1,3-propanodiol é um dos mais antigos dentre os produtos de fermentação conhecidos. Foi inicialmente identificado em 1881 por August Freund em uma fermentação de glicerol contendo uma cultura mista onde foi identificado *Clostridium pasteurianum* (SAXENA *et al.*, 2009).

Em seguida, a capacidade de micro-organismos converterem glicerol em PDO foi observada por Noyes e Watkin em 1895. Esses pesquisadores verificaram a presença de uma impureza em glicerol estocado. A presença de mais de 1% dessa impureza tornou o glicerol inadequado para determinadas aplicações. O início da Primeira Guerra Mundial e a exigência de glicerol de alta pureza para a fabricação de explosivos levou a necessidade de identificação desta impureza de particular importância. Voisenet identificou o composto como 1,3-propanodiol em 1914, que foi determinado como um produto da fermentação anaeróbica de glicerol. Ainda hoje, as especificações de glicerol incluem um teor máximo de 0,5% de PDO (ZENG & BIEBL, 2002).

Em 1928, *Microbiology School of Delf* começou a investigar a produção de 1,3-propanodiol por diferentes micro-organismos da família Enterobacteriaceae. Essa pesquisa foi posteriormente continuada em Ames, Iowa, nos Estados Unidos. Contudo, a primeira espécie de *Clostridium* produtora de 1,3-propanodiol foi somente descrita em 1983. (DROZDZYNSKA *et al.*, 2011).

#### III.7.1. Micro-organismos produtores de 1,3-propanodiol

Muitos micro-organismos são capazes de converter glicerol em PDO. Dentre estes se encontram os do gênero *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Lactobacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Acetobacterium*, etc. Porém os micro-organismos mais estudados para conversão de glicerol em PDO são *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* e *Clostridium butiricum* (SRI Consulting, 1999).

## IV. METODOLOGIA

### IV.1. Estudo de mercado

Para o reconhecimento de preços praticados nos últimos anos no mercado internacional foi utilizado o sistema de análise das informações de comércio exterior, denominado Aliceweb, da secretaria de comércio exterior pertencente ao ministério do desenvolvimento, disponível em <http://alicesweb2.mdic.gov.br>, que mostra a quantidade importada pelo mercado brasileiro e fornece ainda um panorama da demanda interna do país, uma vez que não há registro de produção do BioPDO internamente. Nesta pesquisa foi utilizado o NCM de 29053920, relativo ao Trimetilenoglicol (1,3-propanodiol).

Outra importante fonte de recurso para este presente estudo foi o portal de informações ICIS, disponível em [www.icis.com](http://www.icis.com), denominado como o maior fornecedor de informações do setor petroquímico do mundo, através de periódicas notícias a respeito do mercado americano e relatos do balanço comercial da principal produtora de PDO (Dupont) foi capaz de elucidar atualmente a principal aplicação de tal molécula e seus concorrentes diretos no mercado internacional, indicando ainda projeções de crescimento de demanda.

Com a finalidade de entender a dinâmica de substituição de polímeros originados exclusivamente de derivados do petróleo por polímeros que possuam parcialmente ou integralmente origem renovável e estimar uma possível demanda para o PDO, foi consultado o estudo realizado por (SHEN, *et al.*, 2009) intitulado como PRO-BIP 2009. Este estudo mostra, entre outras coisas, a potencial fatia de mercado que os biopolímeros são capazes de conquistar em relação aos de origem exclusivamente petroquímica. O poli(tereftalato de trimetileno) (PTT), principal aplicação do PDO, possui uma potencial substituição técnica de 20% no mercado de poli(tereftalato de etileno) (PET), 100% de substituição do poli(tereftalato de Butila) (PBT) e 30% de ocupação do mercado de poliamidas (PA). Para uma análise mais conservadora desses dados serão adotados a metade dos valores projetados. Esta projeção baseia-se nas semelhanças entre as propriedades físicas dos polímeros originados de derivados de petróleo e dos biopolímeros, na disponibilidade de biomassa. Vale ressaltar, que tal

projeção realizada apresenta forte dependência em relação aos preços do barril de petróleo comercializado no mercado internacional.

## **IV.2. Detalhamento do Projeto**

### **IV.2.1. Proposta de Fluxograma**

O fluxograma proposto da seção de bioconversão, utiliza glicerina bruta como matéria prima, foi baseado em estudos conduzidos em laboratório e adaptados da SRI Consulting, 1999. Por outro lado a seção de isolamento e purificação de PDO foi integralmente aproveitada e redimensionada para este trabalho a partir de dados obtidos do SRI Consulting, 1999, porque elas atendem de forma satisfatória as necessidades deste projeto.

Foi adotada uma folga de 5% nos dias de operação da planta para comportar eventuais paradas que possam ocorrer durante os anos de operação. Como a proposta do projeto é elaborar um processo em batelada e o volume total a ser processado é grande, será proposto um processo com quatro biorreatores, trabalhando cada um duas vezes por dia e dois a dois alternadamente. A seguir será ilustrado este ciclo de batelada em regime estacionário.

<b>Tempo de operação = 12 horas, 6 horas de Batelada + 3 horas de descarga + 3 horas de recarga</b>							
<b>0h</b>	<b>03h</b>	<b>06h</b>	<b>09h</b>	<b>12h</b>	<b>15h</b>	<b>18h</b>	<b>21h</b>
<b>R1 e R2 iniciam a descarga</b>	<b>R1 e R2 iniciam a recarga</b>	<b>R1 e R2 operando</b>		<b>R1 e R2 iniciam a descarga</b>	<b>R1 e R2 iniciam a recarga</b>	<b>R1 e R2 operando</b>	
<b>R3 e R4 operando</b>		<b>R3 e R4 iniciam a descarga</b>	<b>R3 e R4 iniciam a recarga</b>	<b>R3 e R4 operando</b>		<b>R3 e R4 iniciam a descarga</b>	<b>R3 e R4 iniciam a recarga</b>

**Figura 2 Representação do Ciclo de Batelada da seção de bioconversão em regime estacionário.**

### **IV.2.2. Metodologia para estimar Investimento Total**

A estimativa de custo baseada nos limites de bateria, do inglês *battery-limits*, é aquele em que existe uma fronteira imaginária desenhada em torno da instalação a ser estimada. Presume-se que toda a matéria-prima, utilidades, serviços, etc. estão disponíveis nos limites em quantidade adequada e com a qualidade pretendida para fabricar o produto em questão. São estimados apenas os custos dentro deste limite. Estimativas podem ser classificadas ainda com base na sua qualidade e na quantidade de informações requeridas, com isto a *American Association of Cost Engineers* propôs 5 categorias e suas precisões como mostra a Tabela 1, adaptado de COUPER, 2002.

**Tabela 1: Os cinco tipos de estimativas e suas precisões sugeridas.**

<b>Tipo de estimativa</b>	<b>Faixa de precisão</b>
Ordem de grandeza	-30% a +50%
Estudo	-25% a +30%
Preliminar	-20% a +25%
Definitivo	-10% a +20%
Detalhamento	-5% a +10%

O trabalho em questão adotará o uso da estimativa de Lang, com precisão de  $\pm 30\%$ . Para aplicar este método, o preço FOB de cada equipamento dentro dos limites de bateria deve ser estimado. Ao estimar o custo de todos os equipamentos deve-se atualizar, se necessário, esse valor no tempo e na capacidade requerida. Em seguida soma-se todos os custos unitários dos equipamentos e os multiplica por 1,05 para simular o custo destes entregues no sítio de montagem. Então o resultado é multiplicado pelo fator de Lang apropriado (Tabela 2) para gerar o custo fixo, não levando em conta o capital de giro (SEIDER et. al., 2003).

A fórmula abaixo ilustra como é realizada a correção no tempo.

$$C\theta 1 = C\theta 2 * \frac{I1}{I2}$$

$C\theta 1$ = Custo do equipamento 1;



$C_{\theta 2}$ = Custo do equipamento 2;

$\theta 1$ = Índice no ano 1

$\theta 2$  = Índice no ano 2;

Em seguida é ilustrado o método de Lang citado acima:

$$\text{Investimento Fixo} = 1,05 * fl * \sum Ci$$

$fl$ = Fator de LANG;

$Ci$ = Custo dos equipamentos atualizados

**Tabela 2: Fatores de Lang .**

<b>Tipo de processamento</b>	<b>Fator</b>
Sólidos	3,1
Sólidos e fluidos	3,63
Fluidos	4,74

Adaptado de COUPER, 2002.

Tendo posse do Investimento Fixo, chega-se facilmente ao Investimento Total:

$$\text{Investimento Total} = \text{Investimento Fixo} + \text{Capital de giro} + \text{Capital de partida}$$

O capital de giro é o capital necessário para de fato operar a planta. Em alguns casos ele pode ser empregado para suprir a matéria prima da fabrica por um tempo, ele também pode ser alocado no stock de produto acabado da empresa, ou seja, ele cobre uma eventual paralisação de capital do projeto. Capital de giro pode ser estimado de 10% a 20% do investimento total (DOUGLAS, 1988). Neste trabalho será adotado 15% do investimento total.

O capital de partida é utilizado no início da fase operacional para solucionar eventuais problemas de funcionamento da planta. Ele pode ser estimado como 10% do Investimento Fixo (DOUGLAS, 1988).

### **IV.2.3. Metodologia para estimar o custo dos equipamentos**

#### **IV.2.3.1. Reatores**

A metodologia para estimar o custo dos reatores foi obtida de DOUGLAS (1988).

$$\text{Custo de compra (US\$)} = \left( \frac{M\&S}{280} \right) * (101,9 * D^{1,066} * H^{0,82} * F_c)$$

$D$  = diâmetro, ft;

$H$  = altura, ft;

$$F_c = F_m * F_p$$

$F_p = 1,05$  para reatores que suportam pressões de até 100 psig

$F_m = 2,25$  para reator revestido de aço inox.

$M\&S$  = Fator de Marshall e Swift, em 2012 = 1536,5. (CHEMICAL ENGINEERING, 2012)

#### **IV.2.3.2. Tanque de Processo**

A metodologia para estimar o custo dos reatores foi obtida de SEIDER et. al. (2003).

$$\text{Custo de Compra (US\$)} = \left( \frac{CE \text{ atual}}{CE \text{ mid 2000}} \right) * 210 * V^{0,51}$$

Material: Aço Carbono

$V$  = Volume, gal.  $10.000 < V < 1.000.000$

$CE$  = Chemical Engineering Index ;

$CE$  atual = 567,5 ( CHEMICAL ENGINEERING, 2014)

$CE$  mid 2000 = 394 (SEIDER et. al., 2003).

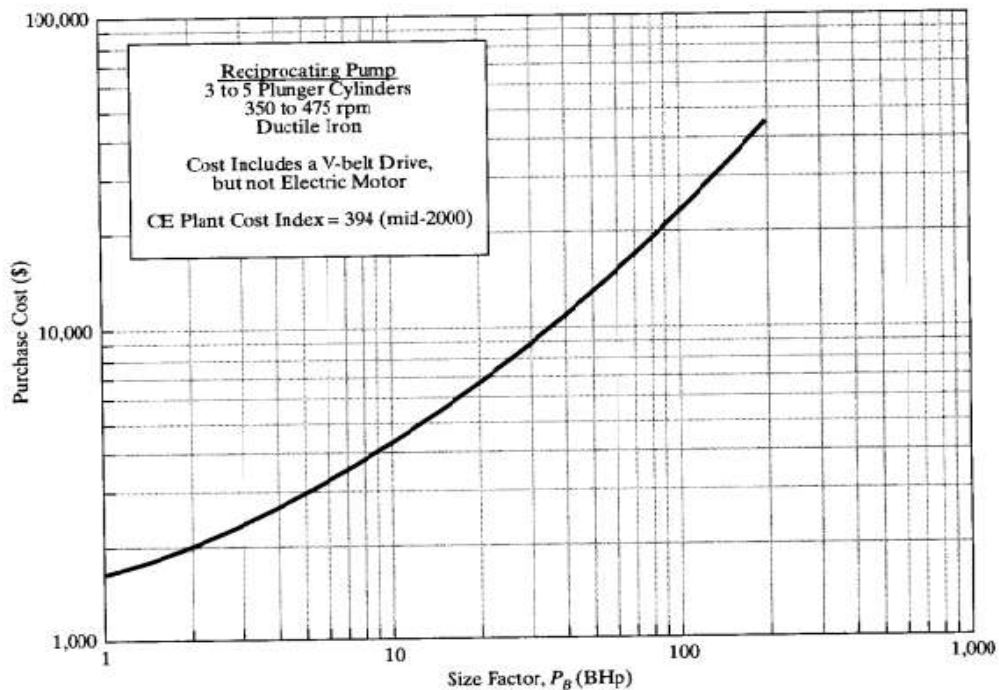
**IV.2.3.3. Bomba**

A seleção de bombas centrífugas, as mais baratas e versáteis, deve atender a algumas faixas de especificação, descritas a seguir: (SEIDER *et al.*, 2003).

- Vazão volumétrica na faixa de 10gpm (0,63 l/s) até 5000gpm (315,5 l/s)
- Elevação de coluna líquida 50ft (15,24 m) até 3200ft (975,4 m)
- Viscosidade cinemática menor que 0,0001 m<sup>2</sup>/s

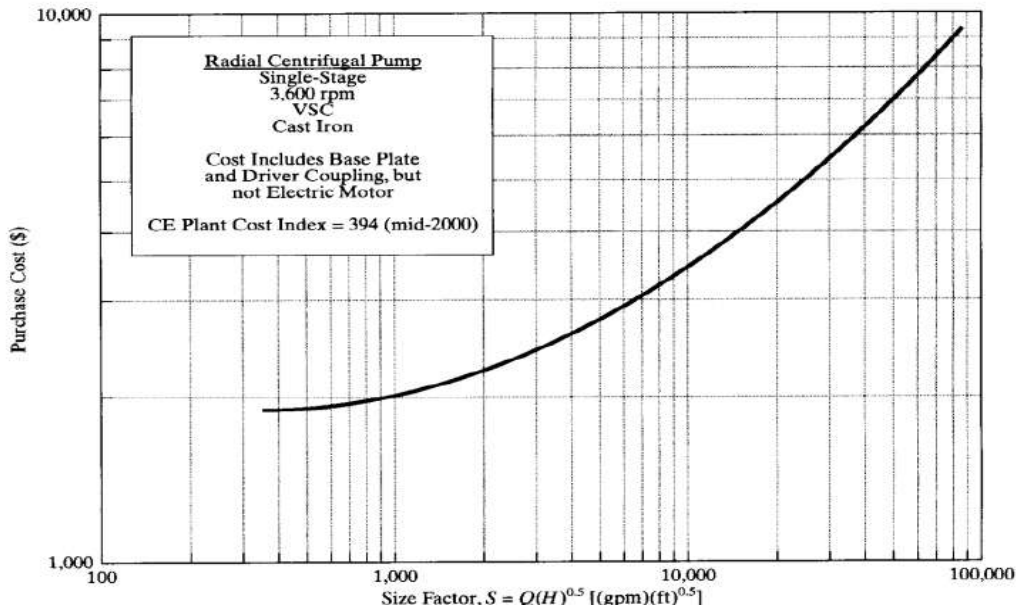
Como a viscosidade cinemática da água a 20°C é 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s e a viscosidade cinemática da glicerina e do PDO são superiores a 0,0001 m<sup>2</sup>/s o uso das bombas centrífugas será restrito apenas as linhas de fluidos que não contenham glicerina e PDO. Por outro lado as bombas de deslocamento positivo são indicadas para bombear fluidos com maior viscosidade cinemática. (SEIDER *et al.*, 2003).

Com a finalidade de estimar o custo das bombas de deslocamento positivo foi consultado o gráfico representado na Figura 3, retirado de SEIDER *et al.*, 2003.



**Figura 3: Gráfico que relaciona o fator de forma (BHp) ao preço de compra, sem levar em conta o motor da bomba.**

Com a finalidade de estimar o custo das bombas centrífugas, foi consultado o gráfico representado na Figura 4, retirado de SEIDER et al., 2003.



**Figura 4:** Gráfico relaciona o fator de forma (BHp) ao preço de compra, sem levar em conta o motor da bomba.

O custo atualizado das bombas depende do fator de atualização (CE), custo da bomba no ano de referência retirado do gráfico (cb), fator que corrige o material empregado (fm) e o custo do motor utilizado (Cm) para a respectiva bomba. Os fatores fm e cm são relacionados na Tabela 3. A metodologia utilizada bem como os fatores adotados foram obtidos de SEIDER *et al.* (2003).

$$\text{Custo atualizado da Bomba} = \frac{CE \text{ atual}}{CE \text{ mid 2000}} * (Cb * fm + Cm)$$

Cb = custo base, retirado do gráfico.

CE= Chemical Engineering Index ;

CE atual = 567,5 ( CHEMICAL ENGINEERING, 2014)

CE mid 2000 = 394 (SEIDER et. al., 2003).

Tabela 3: Relação do fator multiplicativo com o material da bomba e o custo do motor com a potência .

fm	material	Custo do motor (Cm) US\$	potência do motor (Hp)
1	Ferro fundido	1000	11
1,3	aço carbono	500	9
2	Aço Inox	400	5

Adaptado de SEIDER et al., 2003.

#### IV.2.3.4. Compressor

Com a finalidade de estimar o custo do compressor, foi consultado o gráfico representado na Figura 5, retirado de SEIDER *et al.*, 2003.

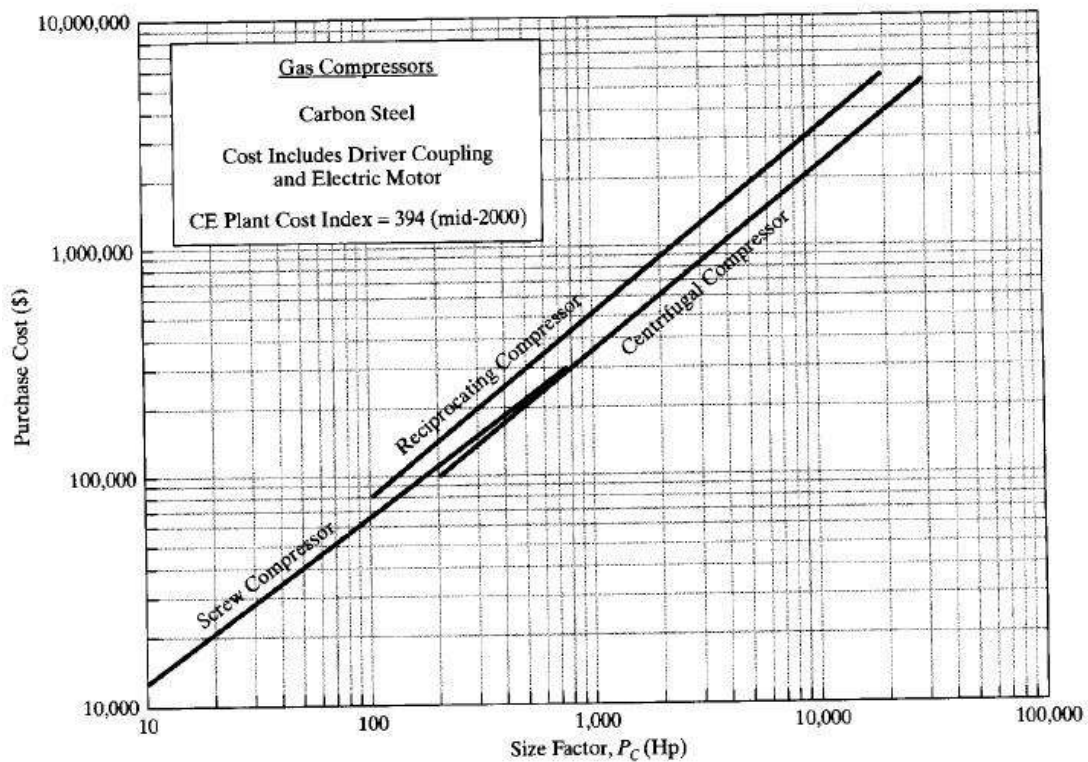


Figura 5: Gráfico que relaciona preço de compra de três tipos de compressor com seu fator de forma, potência (Hp).

O custo atualizado dos compressores foi estimado utilizando metodologia obtida de SEIDER *et al.* (2003).

$$\text{Custo atualizado do compressor} = \left( \frac{CE \text{ atual}}{CE \text{ mid 2000}} \right) * Cb * Fd * Fm$$

$Cb$ = Custo base, retirado do gráfico.

$Fd$ = 1,15 para motor elétrico

$Fm$ = 1.0 para aço carbono e 2,25 para aço inox.

$CE$ = Chemical Engineering Index ;

$CE$  atual = 567,5 ( CHEMICAL ENGINEERING, 2014)

$CE$  mid 2000 = 394 (SEIDER *et. al.*, 2003).

#### **IV.2.3.5. Filtro**

Esta operação unitária é muito importante no processo, sua finalidade é separar as células dos produtos da fermentação. Embora existam várias correlações para diversos tipos de filtros industriais, não foram realizados em escala de bancada testes para definir fatores de forma, tais como: tempo de retenção e área de filtração. Logo para estimar o custo de um filtro industrial, será usado dados contidos na literatura. De acordo com o processo descrito pela SRI Consulting, 1999, cuja planta operava com capacidade instalada de 27,2 Kta, o custo do ultrafiltro adotado por sua planta é de 1,2 milhões de dólares. O estudo citado trata o ultrafiltro como equipamento especial e não fornece fator de escala para ele. Logo utilizando este valor, o filtro de processo estará super estimado em questão de capacidade, uma vez que a meta do trabalho desenvolvido é processar 2 Kta.

### **IV.3. Análise Econômica**

#### **IV.3.1. Custos Operacionais**

Os custos de produção são fatores importantes na concepção da avaliação econômica de um projeto, podemos classifica-los como: custos fixos e custos variáveis, de acordo com sua natureza operacional. De maneira geral, os ditos custos fixos não são influenciados pelo nível de produção, eles são inerentes à existência física da planta e dos funcionários operantes. Por outro lado os custos variáveis sofrem alteração diretamente com o volume de produção. A Tabela 4 mostra a classificação de cada custo.

**Tabela 4: Classificação dos custos de produção .**

<b>Custos</b>	
<b>Variáveis</b>	<b>Fixos</b>
Matérias primas	Mão de Obra
Catalisadores	Depreciação e Amortização
Produtos Químicos	Manutenção
Utilidades	Suprimentos e Taxa
Embalagens	Custos Gerais da planta

Adaptado de WOILER & MATHIAS, 1991

A depreciação é considerada por muitos autores um custo fixo, embora particular porque não representa um desembolso para o caixa do projeto, é dedutível para efeito do imposto de renda e afeta dessa forma o lucro líquido do projeto. A depreciação pode ser entendida como uma parcela a ser somada aos demais custos operacionais, de modo a levar em conta a limitação de vida útil do investimento.

Neste trabalho será considerado o custo total com mão de obra (CTMO) na indústria química brasileira como sendo de:

a) **SALÁRIOS PAGOS** = salário base + horas extras + adicional de periculosidade + adicional de turno;

b) OUTROS PAGAMENTOS EM DINHEIRO = 13º salário + férias + abono de férias + participação nos lucros + gratificação de função + adicional por tempo de serviço + aviso prévio + parcelas rescisórias + prêmio de assiduidade;

c) ENCARGOS SOCIAIS = Previdência Social 20% + FGTS 8% + salário-educação 2,5% + acidentes do trabalho 2% + INCRA 0,2% + SESI 1,5% + SENAI 1,0% + SEBRAE 0,6%;

d) BENEFÍCIOS = saúde + recreação + alimentação + transporte + auxílio creche + previdência privada;

e) CTMO = (a + b + c + d).

O CTMO médio do trabalhador na IQ do Brasil é de US\$ 5 mil / mês

(ABIQUIM 2, 2009).

Para plantas químicas de pequeno porte, o custo atribuído a reparos e manutenção pode ser estimado em 2% ao ano do Investimento Fixo. (PETERS & TIMMERHAUS, 1991).

Os custos gerais da planta são recursos necessários para cobrir materiais alocados no funcionamento e na conservação das chamadas instalações auxiliares, as quais, embora não estando associados a um produto particular, são supridoras de insumos ou de serviços essenciais ao funcionamento da unidade industrial. Estas instalações são tipicamente: superintendência, engenharia, armazenamento, portaria, segurança e combate a incêndio, almoxarifados, restaurante etc. Os custos gerais da planta serão adotados neste trabalho como sendo de 60% da soma do custo de mão de obra direta a manutenção.

O coeficiente técnico utilizado neste trabalho relaciona a quantidade de matéria prima ou utilidades gastos para produzir determinada quantidade de PDO. O custo com utilidades deste processo é mensurado de acordo com os custos relatado pela planta da SRI Consulting, 1999. Por outro lado os dados referentes ao calculo do coeficiente técnico para as matérias primas foi baseado em dados experimentais.



### **IV.3.2. Despesas operacionais**

As despesas operacionais podem ser classificadas em: vendas, P&D e administrativas.

#### **IV.3.2.1. Despesas de Vendas**

Representam cerca de 1-2% da receita líquida e podem compreender comissões de vendas pagas a representantes comerciais e distribuidores, gastos com pessoal e manutenção dos escritórios de vendas, propaganda e etc. (PETERS & TIMMERHAUS, 1991).

#### **IV.3.2.2. Despesas de P&D**

Pesquisa e desenvolvimento se faz necessário em qualquer empresa de cunho tecnológico, mas no caso da indústria química é ainda mais significativa sua atividade. Pode-se adotar a despesa com P&D como sendo 2-5% da receita líquida (PETERS & TIMMERHAUS, 1991).

#### **IV.3.2.3. Despesas Administrativas**

Representam cerca de 1-3% da receita líquida e podem ser entendidas como: Salários dos executivos, gastos administrativos (TI, telefonia, jardinagem etc.), comunicações externas e etc. (PETERS & TIMMERHAUS, 1991).

### **IV.3.3. Receita**

A receita neste trabalho será computada pelo produto do preço de venda do PDO pelo volume de produção em determinado ano. Como o BioPDO não é comercializado principalmente na sua forma original e a capacidade instalada mundial é pequena, como visto no estudo de mercado apresentado, foi adotado como preço de mercado do PDO para este estudo um valor 20% mais baixo do que a média do preço FOB importado pelo Brasil de 2010 até 2014.

### **IV.3.4. Critérios Quantitativos de Análise Econômica de Projetos**

As análises quantitativas referentes à decisão de investir são feitas a partir das projeções do projeto. Órgãos financiadores do projeto estarão interessados em análises que permitam verificar a viabilidade financeira do empreendimento. Já a empresa, além

da viabilidade financeira, estará interessada em verificar a existência da eventual viabilidade econômica do investimento.

Os critérios considerados são aqueles que se baseiam no fluxo de caixa e no valor do dinheiro no tempo. A exceção é o tempo de recuperação do capital investido simples (*payback period*), por que é um critério de grande aceitação prática, daí a importância em compará-lo com os critérios mais “lógicos”.

Simplificadamente, os critérios de análise condensam todas as informações quantitativas disponíveis em um número que, comparado com um padrão pré estabelecido, permitirá aceitar ou rejeitar o investimento em análise.

#### **IV.3.4.1. Tempo de Recuperação**

Este é, provavelmente, o indicador mais simples e fácil de calcular, sendo também de grande aplicação.

É definido do seguinte modo: é o prazo de tempo necessário para que os desembolsos imobilizados sejam integralmente recuperados.

A aplicação do método na empresa é feita do seguinte modo: a empresa fixa um prazo limite para a recuperação das despesas de investimento e são aceitos os projetos cujo tempo de recuperação seja menor ou igual a este limite. É evidente que a duração do prazo limite dependerá de diversos fatores como: tipo de projeto, setor em que a empresa opera, da perspectiva de obsolescência etc.

#### **IV.3.4.2. Valor Presente Líquido**

Sendo admitida determinada taxa de juros (também chamada “taxa de desconto”), o valor presente líquido (VPL) pode ser definido como sendo a soma algébrica dos saldos do fluxo de caixa descontados àquela taxa para determinada data.

O VPL positivo significa que os ganhos do projeto remuneram o investimento feito em um valor escolhido para a taxa de desconto (se a taxa for escolhida em 8%, por exemplo, diz-se que os ganhos do projeto remuneram o investimento feito em 8% ao ano).

Pode-se dizer então, neste caso em que o valor atual líquido é positivo, que o projeto deve ser aceito porque cobre o custo de capital da empresa. Quanto maior o VPL

a uma taxa de desconto, mais desejável é o projeto para a empresa, pois maior é seu potencial de ganho.

Por outro lado, se o valor atual líquido for menor que zero, então o projeto deve ser rejeitado por que os ganhos não cobrem o custo de capital da empresa.

#### **IV.3.4.3. Tempo de Recuperação Descontado**

Este indicador tem a mesma definição do tempo de recuperação do capital investido simples, com a única diferença de que seu cálculo é feito com os valores do fluxo de caixa descontados a uma dada taxa.

A aplicação desse critério é feita do mesmo modo que a do tempo de recuperação do investimento simples. A vantagem que este indicador apresenta é levar em conta o valor do dinheiro no tempo, pelo menos de forma parcial.

#### **IV.3.4.4. Taxa Interna de Retorno**

A taxa interna de retorno é a taxa de desconto que torna nulo o valor presente líquido do investimento.

A determinação da taxa interna de retorno, no caso mais geral, envolve encontrar-se a raiz de uma equação de grau superior a dois.

## **V. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **V.1. Estudo de Mercado**

#### **V.1.1. Análise Preliminar de Mercado**

O 1,3-PDO da DuPont recebeu a denominação comercial Bio-PDO™, cuja fábrica está localizada em Loudon, Tennessee, EUA, sendo a primeira fábrica a produzir 1,3-PDO em escala comercial a partir de fonte renovável. O Bio-PDO está principalmente disponível em três formas comerciais: Zemea®, Sorona® e Susterra®. O Zemea® é o 1,3-PDO com maior pureza, não causando irritação ou sensibilização da pele, destinado a aplicações em produtos de higiene e cosméticos, podendo substituir o propileno glicol, o butileno glicol ou a glicerina. O Susterra® é o 1,3-PDO de grau industrial, utilizado na indústria de poliuretanos e também destinado a aplicações como descongelante e anticongelante, entre outras possíveis aplicações. Sorona® é a marca comercial do PTT produzido pela própria Dupont, recebendo 37% em massa do Bio-PDO. Uma característica diferencial que confere propriedades únicas ao PTT é o número ímpar de carbonos do 1,3- PDO, diferentemente dos intermediários do PET e do PBT que contêm número par de carbonos. O PTT apresenta melhor resiliência, maior facilidade de coloração e melhores propriedades elásticas. Ainda, o PTT é resistente à descoloração (lavagens sucessivas) e à estática, podendo ser utilizado em áreas tão distintas como carpetes, vestuário, têxtil, termoplásticos de engenharia e monofilamentos. Para aplicações na indústria de vestuários, as características que fazem do PTT um polímero interessante incluem maciez, elasticidade e coloração duradoura (DUPONT TATE&LYLE).

Observou-se uma crescente demanda pelo bio-PDO vinda das companhias de aviação norte americana, como reportado pelo *Green Chemicals Blog*, 2013, o aeroporto internacional Lambert-Saint Louis (STL) em parceria com a empresa Kilfrost que é líder mundial em fornecimento de fluidos anticongelantes, tornou-se o primeiro nos Estados Unidos a usar fluido de degelo com base biotecnológica, comercialmente conhecido como DFsustein, usando o 1,3-propanodiol de base biológica produzido pela empresa Dupont. De acordo com os idealizadores deste novo projeto a iniciativa do STL

irá incentivar as empresas de aviação parceiras à utilizarem cada vez mais este novo produto de base biológica e suas misturas para substituir os de origem petroquímica. A empresa Kilfrost estimou que o consumo de cerca de 1 milhão de litros do DFsustein feito pelo bio-PDO da Dupont, resultando em uma redução de 6.500 toneladas de carbono (GUZMAN, 2013).

Outra aplicação promissora do bio-PDO, descrita pela patente US 2013 0236597 A1, mostra que o PDO quando colocado em pequenas quantidades, é capaz de suprimir o amargor de certos alimentos e bebidas, sendo um importante coadjuvante na flavorização para a indústria alimentícia.

Mais uma aplicação industrial foi noticiada no final de 2012 para o Bio-PDO. A empresa Dupont Tate & LYLE (DTL) anunciou um plano para produzir poliéster combinando o PDO com o ácido succínico de origem biológica da empresa Myriant, dando origem a um polímero 100% Bio. Poliéster poliois são intermediários químicos na produção de poliuretanos, revestimentos, adesivos e selantes. O novo polioliol é dito como de igual funcionalidade e com preço competitivo ao de origem petroquímica. Com relação ao Bio-PDO um estudo feito pela Markets and Markets revela que o mercado de 1,3-propanodiol crescerá de 157 milhões de dólares em 2012 para cerca de 560 milhões de dólares em 2019 com uma taxa de crescimento anual de 19,9% entre este período. Ainda de acordo com o estudo a principal força que alavancará este crescimento de demanda é o potencial que o Bio-PDO possui para ganhar novas aplicações comerciais, além do crescimento populacional e aumento do consumo de produtos de origem biotecnológica. Tendo em vista este mercado promissor, dominado pela DTL, novas empresas estão interessadas em entrar, como a francesa METabolic Explorer e a Huamei Biomaterial de origem chinesa. De acordo com a firma de consultoria chinesa CCM International, a Huamei está construindo uma unidade produtora de PDO com capacidade de 65 Kta, não é conhecido se de origem biológica ou petroquímica (GUZMAN, 2012).

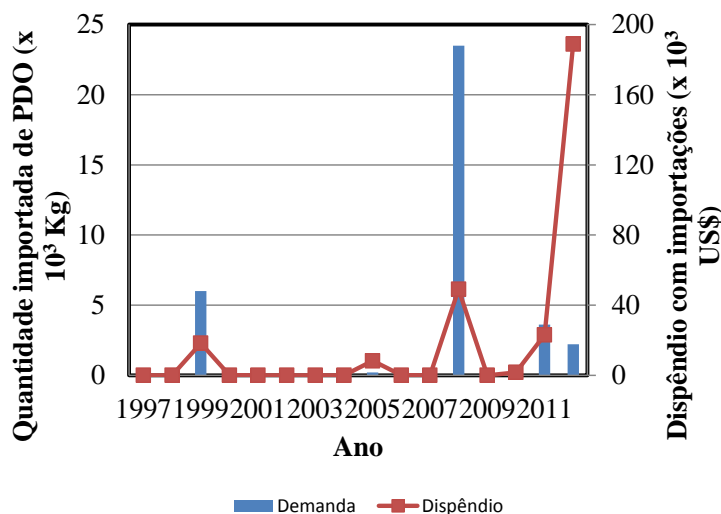
**V.1.2. Resultados e discussão**

O Brasil importou uma quantidade significativa (6.000 kg) de PDO em 1999. Essa quantidade foi importada da Alemanha, totalizando um valor de US\$ 18.296,00 como é possível verificar na Figura 6. Sendo assim, o PDO importado pelo Brasil em 1999 custou aproximadamente US\$3,05/Kg.

Após 1999, não ocorreram importações significativas de PDO até o ano de 2008, quando o Brasil importou 23.502 Kg de PDO (Figura 6). A maior parte (20.500 kg) foi importada da China e custou cerca de US\$ 38.762,00, ou seja, US\$1,89/Kg. Em 2008, o Brasil importou também 3.000 Kg da Itália a um preço de US\$ 3,39/Kg e 2 Kg dos Estados Unidos a um valor de US\$ 62,00/Kg.

Quantidades expressivas de PDO tornaram a ser importadas em 2011 e 2012, como mostra a Figura 6. Sendo que em 2011 foram importados 3.613 Kg. A maior parte (3.611 Kg) foi fornecido pelos Estados Unidos a um preço médio de US\$ 5,99/Kg. Porém cerca de 2 Kg foi importado da China a um valor total de US\$ 1.400,00. Já em 2012 foram importados 2.215 Kg, sendo 2.214 kg dos Estados Unidos a um preço médio de US\$ 85,25 e 1 Kg da China a US\$ 96,00.

Dados obtidos de <http://aliceweb2.mdic.gov.br>



**Figura 6: Evolução da quantidade importada de PDO e os dispêndios com a importação no período de 1999 a 2012.**

O PDO importado em 1999 foi proveniente de rota petroquímica, muito possivelmente da rota de hidratação da acroleína seguida de hidrogenação, tecnologia comercial desenvolvida pela Degussa, empresa Alemã.

Apesar do aumento das importações de PDO a partir de 2008 pelo mercado brasileiro, é possível verificar uma descontinuidade nas importações de PDO em 2009 e uma quantidade não muito significativa (401 Kg) em 2010 (Figura 6). Isso se deu possivelmente em função da crise econômica global que começou em 2008. Este aumento das importações coincide com a entrada em operação planta BioPDO da Dupont, final de 2006. Apesar de em 2008 só ter sido importado 2 Kg dos Estados Unidos, o preço desse intermediário petroquímico foi bem superior as demais importações realizadas, indicando que este PDO contém um grau de pureza mais elevado.

Praticamente todo PDO importado nos últimos anos foi proveniente dos Estados Unidos. Como a empresa Dupont é atualmente a principal produtora de PDO e utiliza a rota biotecnológica, o PDO importado pelo Brasil nos últimos anos é um produto proveniente de matéria-prima renovável, sendo possível sua aplicação no setor de fármacos e cosméticos.

Ainda na Figura 6, é possível verificar um aumento muito significativo no preço do PDO nos últimos anos. O processo fermentativo gera um produto com maior valor agregado, sendo capaz de ser utilizado no setor de fármacos e cosméticos devido a sua menor irritabilidade e elevada pureza (DUPONT & TATE LYLE).

O baixo volume comercializado de PDO no mercado internacional é justificado pelo fato da empresa Dupont, principal produtora, utilizar grande parte para a produção do PTT, atualmente produzido com o nome comercial de Sorona®. Este compete com outros poliésteres glicóis produzidos pela Dow Chemical, Bayer, BASF, Huntsman, e Shell Chemicals. O mercado de poliéster tem um consumo global anual de aproximadamente 6 milhões de toneladas com demanda crescente de 5% ao ano (PAVONE, 2013).

As propriedades físicas que tornam o PTT um promissor polímero em comparação aos já consagrados plásticos de engenharia e fibras, são resumidas nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

**Tabela 5: Propriedades físicas relacionadas a plástico de engenharia.**

Plástico de engenharia			
Propriedades Físicas	PET	PTT	PBT
Resistência a tração, Mpa	72,5	67,6	56,5
Modulos de Flexão, Gpa	3,11	2,76	2,34
Temperatura de Fusão, °C	256	226	228
Transição Vítreá, °C	80	45-75	25

Adaptado de SRI Consulting, 1999.



**Tabela 6: Propriedades físicas relacionado a fibra do PET , PA e PTT.**

Fibras			
Propriedades Físicas	PET	PA	PTT
Resiliência	aceitável	excelente	excelente
Capacidade de Tingimento	bom	ruim	muito bom
Processabilidade	excelente	muito bom	excelente
Resistência a manchas	excelente	bom	excelente
Resistência a Abrasão	excelente	excelente	excelente

Adaptado de SRI Consulting , 1999.

Como é possível visualizar na Tabela 7, em alguns casos o PTT pode substituir o PET, em especial, no setor de fibras pela sua resiliência elevada. Com relação as poliamidas (PA), o PTT possui características físicas similares, mas com a vantagem de ter a capacidade de ser tingido muito superior ao das poliamidas. Por outro lado, o PBT possui praticamente todas suas propriedades inferiores quando comparado ao PTT, podendo ser substituído de forma integral. A Tabela 7 apresenta também uma estimativa de demanda para o PTT com base no consumo de seus substituídos no ano de 2008, levando em conta também o aparecimento de outros polímeros de fonte biotecnológica.

**Tabela 7: Possível substituição técnica de PET, PA e PBT por PTT em aplicações de plásticos de engenharia e fibras.**

Plásticos (incluindo Termofixos e Termoplásticos)	% Substituição	PET	PA	PBT	Fibras	% Substituição	PET	PA
	BioPTT	20	30	100		BioPTT	20	20
(1000 t)	PET	PA	PBT	(1000 t)	PET	PA		
Consumo Global em 2008	15.400	2.730	954	Consumo Global em 2008	30.804	3.836		
Potencial Demanda de PTT	4009			Potencial Demanda de PTT	6928			

Dados obtidos de PRO-BIP (2009).

Observa-se que nesta projeção o PTT tem principalmente entrada nos mercados de PET , PA e PBT como já foi justificado anteriormente, e seu potencial de participação no mercado mundial poderia alcançar o patamar de consumo de mais 4 milhões de toneladas por ano, sem contar o setor de fibras.

Comparando a entrada no mercado dos biopolímeros de PET e PA a fatia de mercado conseguida pelo PTT ainda é modesta, mas mesmo assim alcança certo volume de consumo apreciável quando somado ao estudo anterior. A demanda projetada para o PTT no setor de fibras é mais de 6,9 milhões de toneladas ao ano.

## **V.2. Detalhamento do Projeto**

### **V.2.1. Proposta de Fluxograma**

Como visto no estudo de mercado, a demanda nacional é muito pequena e variável, não justificando uma produção em larga escala de PDO apenas para suprir esta procura. Então será adotado uma produção anual de 2 Kta ( 2.000.000 kg/ano) de PDO para cobrir esta atual procura, estimular o seu aumento, reduzindo o preço de comercialização, e ainda procurando entrar no mercado internacional. Como estas metas de venda são incertas, a capacidade de produção desta planta é relativamente pequena, quando comparada a da Dupont de 60 Kta.

A partir da capacidade instalada desejada, estimou-se o volume processado por dia para, então, calcular o volume dos reatores que operarão em batelada, mantendo a proporção geométrica igual ao do reator utilizado em escala laboratorial. Esses dados encontram-se descritos na Tabela 8.

**Tabela 8: Parâmetros arbitrados no projeto e variáveis obtidas a partir de dados experimentais em escala laboratorial.**

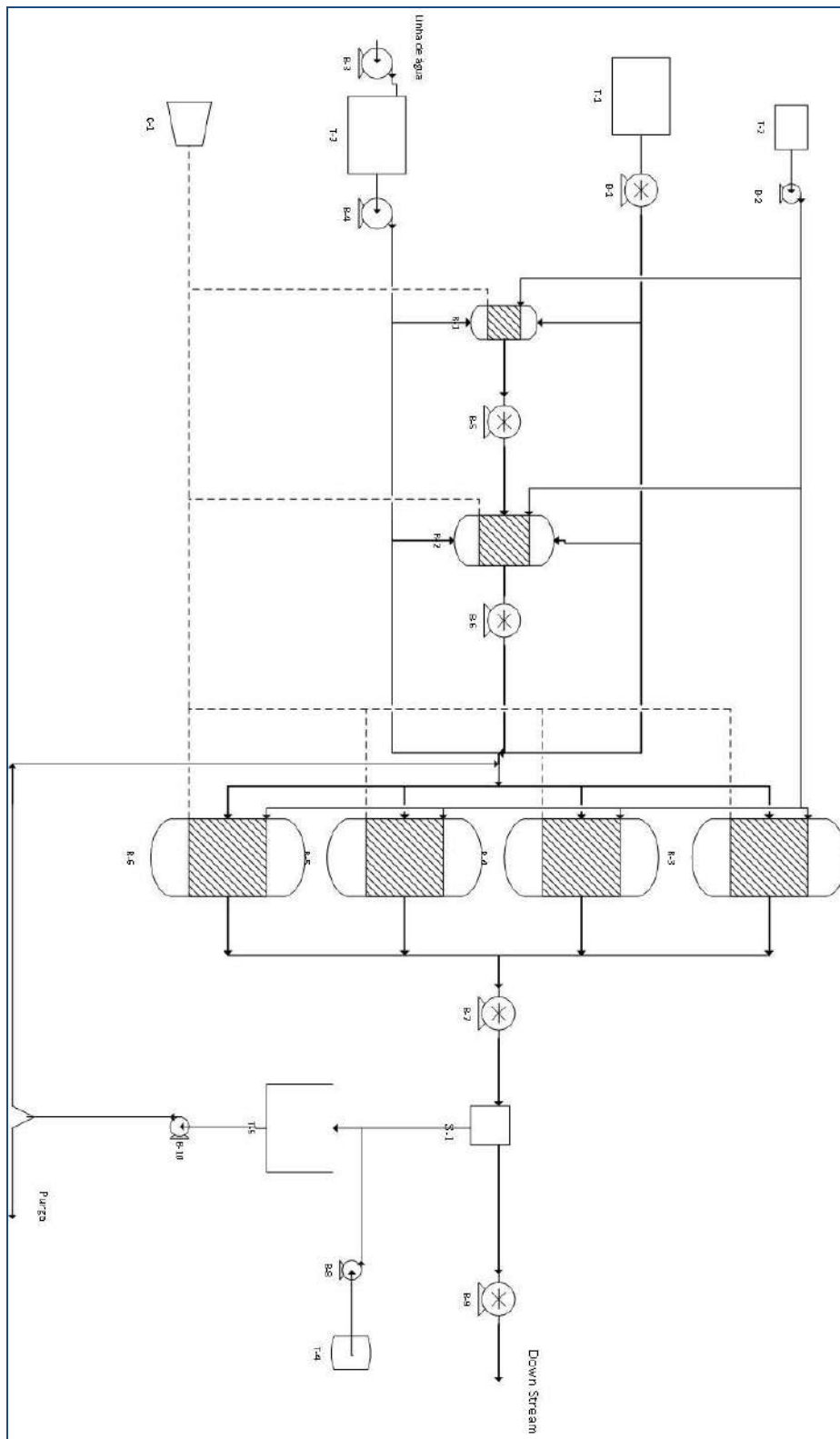
Core do Projeto		Dimensão do Reator	m   m <sup>3</sup>	ft   ft <sup>3</sup>
Meta (kg/ano)	2000000	Volume	25,0	883
Dias de operação (95%)	346,75	altura	5,1	17
Meta diária(kg/dia)	5767,844	Diametro	2,5	8
Produção de PDO (g/l)	37,6			
Volume de meio processado (l/dia)	153400,1			
Tempo de operação* (h)	12			
Número de Reatores	4			
Número de bateladas / dia	8			
Volume de meio / Reator (l)	19175,01			
Volume nominal do reator (l)	25.000			

\* Tempo de operação = Batelada + descarga + carga

Em seguida, foi proposto um fluxograma que encontra-se detalhado na Figura 10. Cada item do fluxograma encontra-se descrito na Tabela 7.

O fluxograma da seção de bioconversão contém dois reatores de pequeno porte, R1 e R2, que apresentam a capacidade de 250 L e 2.500 L, respectivamente. Esses reatores são utilizado para propagação de células e alimentaram os reatores principais do processo, R3, R4, R5 e R6. Para seguir a metodologia utilizada em escala laboratorial, o volume de pré inoculo utilizado é cerca de 20 vezes menor do que o volume de processo. Foi necessário utilizar bombas de deslocamento positivo (BDP) para ser utilizado no bombeamento de fluídos mais viscosos que se encontram na descarga dos reatores, por conta da formação de PDO e no bombeamento da glicerina bruta. Além disso, foi escolhido aço inoxidável 314 para servir de revestimento das bombas que entram em contato com fluídos de descarga dos reatores bem como na bomba que trabalha com a solução ácida. O compressor (C-1) é responsável por manter atmosfera de nitrogênio no pré inoculo e nos reatores, mantendo o processo em anaerobiose. A solução contendo meio mineral e orgânico, isento de glicerina, é preparada no tanque (T-3) e então levada para os reatores de pré inoculo e de processo. Para dar suporte a esta planta será necessário um laboratório que faça o crescimento de biomassa em escalas reduzidas até ser capaz de alimentar o menor biorreator da unidade.

Fluxograma adaptado do estudo feito pela SRI Consulting ,1999.



**Figura 7: Fluxograma da unidade de bioconversão de glicerol a 1,3-propanodiol.**

**Tabela 9: Relação de equipamentos da unidade de fermentativa representada no fluxograma.**

Tag	Equipamento	Descrição	Tag	Equipamento	Descrição
T-1	Tanque	Glicerina de Processo	B-2	Bomba	Bomba Centrífuga
T-2	Tanque	Base retificadora	B-3	Bomba	Bomba Centrífuga
T-3	Tanque	Solução contendo meio mineral	B-4	Bomba	Bomba Centrífuga
T-4	Tanque	Ácido de Lavagem	B-5	Bomba	Bomba de deslocamento positivo
T-5	Tanque	Recuperação de Células	B-6	Bomba	Bomba de deslocamento positivo
C-1	Compressor	Compressor Centrífugo	B-7	Bomba	Bomba de deslocamento positivo
R-1	Reator	Pré-inóculo 250 L	B-8	Bomba	Bomba Centrífuga
R-2	Reator	Pré-inóculo 2.500 L	B-9	Bomba	Bomba de deslocamento positivo
R3, R4, R5 & R6	Reatores	Reator de processo 25.000 L	B-10	Bomba	Bomba Centrífuga
			S-1	Filtro	Ultrafiltro
B-1	Bomba	Bomba de deslocamento positivo			

O bioprocesso ocorre em batelada alimentada com correção de PH, porque os subprodutos são ácidos orgânicos. A torta oriunda do ultrafiltro é suspensa por uma solução ácida para que seja retirada as bactérias mortas e em seguida uma parte é purgada e outra retorna ao processo para complementar o volume de biomassa necessária. Utiliza-se um compressor para introduzir uma atmosfera de nitrogênio nos reatores com a finalidade de deixar o ambiente com ausência de oxigênio.

A unidade de fermentação foi dimensionada para processar cerca de 77 mil litros de meio por ciclo de batelada contendo 37,6 g/L de PDO, supondo uma produção similar a encontrada em biorreator. De acordo com o fluxograma da seção de bioconversão, esta unidade opera com quatro biorreatores de 25 mil litros trabalhando dois a dois alternadamente com tempo de operação de 12 horas, sendo 6 horas de batelada e mais 3 horas para descarga e outras 3 horas para recarga. Neste caso por questões operacionais a vazão mássica de carga e descarga é de aproximadamente 3,6 litros/s. Desta forma o bioprocesso em batelada poderá alimentar de forma contínua as seções seguintes de recuperação e purificação.

O fluxograma representado na Figura 8, retirada do estudo feito pela SRI Consulting, 1999, apresenta a seção (Seção 200) onde ocorre a separação do PDO e a recuperação do subproduto. Inicialmente o filtrado decorrente do ultrafiltro alimenta o evaporador-cristalizador de efeito múltiplo (V-201A&B e V-202A&B). Os sais dos subprodutos ( acetato de sódio e butirato de sódio) são concentrados e cristalizados. O PDO cristalizado e em solução é bombeado ao alimentador do filtro tanque (V-205) e filtrado em um filtro de correia a vácuo (S-202). A solução mãe de PDO é separado da

torta de filtração úmida e coletado no tanque (T-203). A torta úmida, é então, lavada duas vezes para recuperar o PDO residual. Em seguida a torta vinda do filtro (S-202) é transportada ao tanque (S-204) e seca no secador (S-206). A mistura seca de sais é então enviada ao tanque de armazenagem de sais de subproduto (S-208).

A Seção 300 apresentada na Figura 8, retirada do estudo feito pela SRI Consulting, 1999, é responsável pela remoção de água e purificação do PDO, inicialmente a solução vinda da seção 200 alimenta uma coluna de destilação em que água e resíduos leves são retirados no topo da coluna e o PDO bruto no fundo, em seguida este serve de alimentação a uma coluna purificadora empacotada. O PDO é recuperado desta como destilado de topo, condensado e estocado.

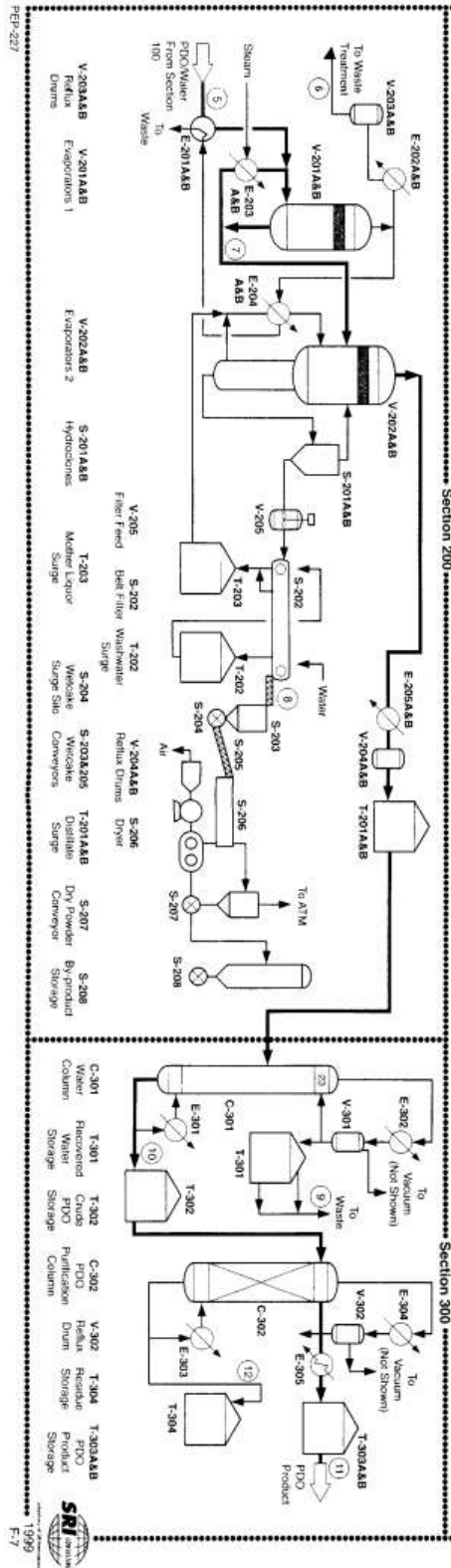


Figura 8: Fluxograma de uma unidade de secagem, isolamento e purificação de 1,3-propanodiol.

**V.2.2. Orçamento detalhado**

O orçamento dos reatores, dos tanques de processo, das bombas e do compressor encontram-se descritos nas Tabelas 10, 11, 12 e 13, respectivamente. Com as dimensões dos reatores calculadas, foram estimados na Tabela 10, seus custos pela metodologia descrita no capítulo IV.2.3, como o processo gera ácidos orgânicos e trabalha com pulsos de alimentação de hidróxido de sódio, foram escolhidos reatores com revestimento de aço inoxidável 314 para suportar de forma confiável os dez anos de operação da planta.

**Tabela 10: Orçamento dos reatores.**

Reatores	V(ft <sup>3</sup> )	D(ft)	H(ft)	Material	Custo de compra(\$)
R3 , R4, R5 & R6	25,0	8,2	16,7	314 SS	1.011.502
R2	2,5	3,8	7,8	314 SS	59.462
R1	0,3	1,8	3,6	314 SS	13.982
Custo de compra Total dos Reatores(\$)					1.084.946

Os tanques de processo, descritos na Tabela 11, para glicerina e nutrientes (T-1 e T-3) foram projetados para possuir volume capaz de suprir em pelo menos 1 dia de operação a planta de bioconversão. O material proposto para esses tanques foi aço carbono (CS) pelo baixo custo e boa resistência aos fluidos que serão armazenados (PERRY, 1997).

**Tabela 11: Orçamento dos Tanques de processo.**

	Tanques	Volume(gal)	Material	Custo de compra (\$)
Glicerina	T1	30000	CS	58079
Nutrientes	T2	30000	Cs	58079
Retificadora PH	T3	1000	Cs	10249
Solução ácida	T4	1000	314,SS	22548
Suspensão de células	T5	600	314,SS	17377
Custo Total Tanque de processo(\$)				166333

As bombas empregadas no processo de bioconversão se diferenciam pelo tipo de fluido que trabalharam e pela vazão média de operação. O fator de forma para as bombas centrífugas (BC) reflete a vazão em galões por minuto (gpm) e a altura de



líquido elevada em pés (ft). Para uma elevação de coluna líquida de 100 ft (30 metros) e vazão de 4 litros/s (64 gpm) o fator de forma para as bombas centrífugas resultaria em cerca de  $600 \text{ gpm} \cdot \text{ft}^{0,5}$ , mostrando que a escolha por  $1000 \text{ gpm} \cdot \text{ft}^{0,5}$  confere uma margem razoável de segurança ao processo. O fator de forma empregado para as bombas de deslocamento positivo (BDP) é o breakhorsepower (BHP), um fator proporcional à vazão volumétrica com a elevação de coluna líquida gerada. Utilizando os mesmos parâmetros anteriores de vazão e elevação de coluna líquida obtemos um BHP de aproximadamente 3, adotaremos para estas bombas um valor de 9 BHP para conferir uma boa margem de trabalho (SEIDER *et al.* 2003). A Tabela 12 mostra o orçamento detalhado das bombas da seção de bioconversão.

**Tabela 12: Orçamento das Bombas.**

	Tag	Bomba	Fator de Forma	Material	Motor (Hp)	Custo de Compra(\$)
Glicerina	B1	BDP	9 (BHp)	Cs	9	7.725
Linha retificador PH	B2	BC	500 ( $\text{gpm} \cdot \text{ft}^{0,5}$ )	CS	5	4.066
Linha de água	B3	BC	1000 ( $\text{gpm} \cdot \text{ft}^{0,5}$ )	CS	9	5.963
Nutrientes	B4	BC	1000 ( $\text{gpm} \cdot \text{ft}^{0,5}$ )	CS	9	5.963
R1-> R2	B5	BDP	9 (BHp)	316 SS	9	11.520
R2-> R3,4,5,6	B6	BDP	9 (BHp)	316 SS	9	11.520
R -> filtro	B7	BDP	9 (BHp)	316 SS	9	11.520
Linha de água e ácido	B8	BC	500 ( $\text{gpm} \cdot \text{ft}^{0,5}$ )	316 SS	5	5.963
Downstream	B9	BDP	9 (BHp)	316 SS	9	11.520
Recirculação de Célul	B10	BC	1000 ( $\text{gpm} \cdot \text{ft}^{0,5}$ )	316 SS	9	8.810
<b>Custo Total das Bombas(\$)</b>						<b>84.573</b>

Os compressores centrífugos são os mais utilizados porque são de fácil controle, tem pequena fundação e pouca manutenção. Para elevações de pressão de aproximadamente 70bar de um determinado fluido, a potência necessária para o compressor centrífugo é de 9.300 HP assumindo uma eficiência de 95%. Como este projeto mantém características dos estudos experimentais, a pressão do sistema não deve passar de 2bar. Logo foi escolhido um compressor de 500 HP, capaz de atender perfeitamente elevações de pressão do sistema de 2bar (SEIDER *et al.* 2003).

A Tabela 13 mostra o orçamento estimado pela metodologia adotada neste trabalho para um compressor centrífugo de médio porte, suficiente para o processo descrito.

**Tabela 13: Orçamento do compressor.**

	Compressor	Hp	Motor	Custo(\$)
Geral	C1	500	Centrífugo	406.599

Como já visto anteriormente, será considerado 1,2 milhões de dólares o custo do ultrafiltro já instalado, seu valor será computado diretamente no investimento fixo. Para efeitos de cálculo pelo método de Lang, o ultrafiltro não foi somado aos demais equipamentos e multiplicado pelo valor de 4,7, ele entrou apenas somando, como se 1,2 milhões de dólares já fosse o custo dele instalado.

Os custos dos equipamentos da seção de purificação e isolamento, retirados da SRI Consulting, 1999, foram corrigidos para a capacidade da planta proposta, originalmente retirado do estudo da SRI Consulting, 1999 de 27 Kta para a planta proposta neste estudo de 2 Kta, com um fator de redução de escala de 0,52 e 0,62 para a seção de purificação e isolamento, respectivamente. Em seguida os custos foram atualizados no tempo com índices de 389 no ano de 1999 e 567 no ano de 2014 (CHEMICAL ENGINEERING, 2014). Por último, os custos dos equipamentos receberam um acréscimo de 25% do valor até então calculado para simular a internalização destes, uma vez que o estudo original foi realizado fora do Brasil. A Tabela 14 resume os valores corrigidos em cada etapa.

**Tabela 14: Custos dos equipamentos por seção do processo**

Custo dos Equipamentos da Seção de Fermentação	US\$			
		<b>2.942.450</b>		
Custo dos Equipamentos da Seção de isolamento	US\$	Valor corrigido capacidade	Correção anual	Fator para Internalizar(25%)
	3.113.000	801.196	1.167.340	<b>1.459.175</b>
Custo dos Equipamentos da Seção de Purificação	US\$	Valor corrigido capacidade	Correção anual	Fator para Internalizar(25%)
	1.436.000	492.497	717.566	<b>896.958</b>

Com todos os valores corrigidos, foi realizado o somatório dos custos dos equipamentos da seção de fermentação, isolamento e purificação para então multiplicá-los por 1,05, simulando os custos entregues em sitio. Em seguida para estimar o investimento fixo, o valor dos equipamentos entregues em sitio são multiplicados por 4,74, de acordo com o método descrito de Lang. Para cálculo do ISBL e do OSBL considerou-se ISBL igual a 60% do valor do investimento fixo e OSBL igual a 0,45% do ISBL (DOUGLAS, 1988). Ainda de acordo com a metodologia descrita, o capital de partida foi estimado em 10% do investimento fixo e o capital de giro igual a 10% do investimento total. O investimento total é a soma do investimento fixo com capital de giro e capital de partida, a Tabela 15 reporta estes valores calculados para uma planta de 2 Kta situada no Brasil.

**Tabela 15: Resumo dos valores computados do investimento para uma planta produtora de PDO com capacidade de 2 Kta situada no Brasil.**

	(US\$)
ISBL	12.855.903
OSBL	5.785.156
<b>Investimento Fixo</b>	<b>21.426.505</b>
Capital de Partida	2.142.651
Capital de Giro	4.159.263
<b>Investimento Total</b>	<b>27.728.419</b>

### **V.3. Análise Econômica**

De acordo com a metodologia empregada no capítulo IV.3.1 , a Tabela 16 e 17 resume os custos variáveis e fixos, respectivamente, da unidade de produção, isolamento e purificação de PDO.

**Tabela 16: Resumo dos custos variáveis do projeto.**

<b>Resumo dos Custos de Variáveis</b>							
	Unidade	Coef. Tec.	Preço		Custo Unitário	Custo Anual	
CUSTOS VARIÁVEIS		un./t	US\$/t		US\$/t	US\$	
<b>Matérias-primas</b>							
Glicerina bruta	t	1,983	356		706	1.411.896	
Hidróxido de Sódio	t	0,281	300		84	168.600	
<b>Total de matérias-primas</b>					<b>790</b>	<b>1.580.496</b>	
<b>Utilidades</b>							
		consumo/t	preço				
Energia elétrica	kwh	175	1,22	\$/kwh	214	427.968	
Água de resfriamento	gal	151.235	2,40	\$/mgal	364	727.075	
Água de processo	gal	1.737	1,06	\$/mgal	2	3.686	
Vapor	150 psig	lb	13.690	3,27	\$/mlb	45	89.536
Vapor	600 psig	lb	12.456	4,14	\$/mlb	52	103.135
gás inerte	baixa pressão	scf	5.401	0,38	\$/mscf	2	4.105
<b>Total de utilidades</b>					<b>678</b>	<b>1.355.506</b>	
<b>TOTAL DOS CUSTOS VARIÁVEIS</b>					<b>1468,00</b>	<b>2.936.002</b>	

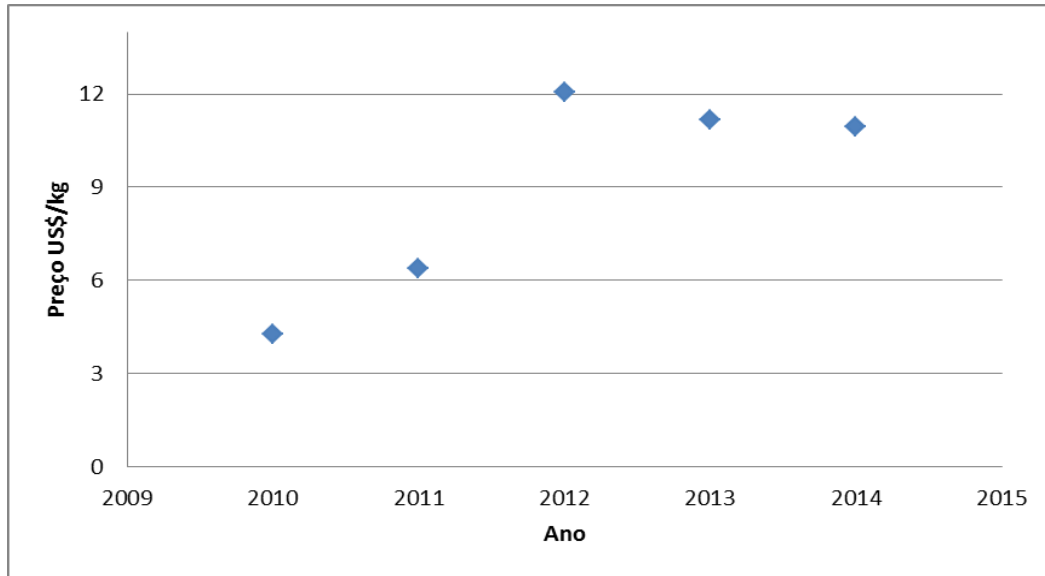
Dados de utilidades retirados de SRI Consulting, 1999.

**Tabela 17: Custos Fixos estimados no projeto.**

<b>Custos Fixos</b>					
Custos Fixos		Pessoas / turno	Turnos	CTMO (US\$/mês)	Custo anual (US\$)
Mão de Obra direta		5	3	5000	900.000
Manutenção	2% IF				428.530
Custos gerais da planta	60%(MO +Manutenção)				797.118
Depreciação (não desembolsável)	10% IF				2.142.651
<b>Total dos Custos Fixos Desembolsáveis</b>					<b>2.125.648</b>

A depreciação não foi computada nos custos fixos desembolsáveis porque ela não representa saída de capital de forma direta, como os outros custos fixos. Ela representa a perda de valor com o tempo dos equipamentos adquiridos. Portanto, seu cálculo é realizado para ser abatido do imposto pago.

Com a finalidade de calcular a receita anual do projeto, foi feito um levantamento do preço de PDO praticado nos últimos cinco anos e então estimar um preço de venda 20% inferior, como descrito na metodologia empregada, a Figura 11 ilustra este levantamento feito, dados obtidos de <http://aliceweb2.mdic.gov.br>.



**Figura 9: Gráfico ilustrativo do preço FOB/kg praticado do PDO no mercado.**

A média de preço do PDO foi calculado em US\$/kg 8,97, logo será adotado neste trabalho US\$/kg 7,18 como sendo o preço de venda e então a receita será o produto deste preço pelo percentual utilizado da capacidade da planta.

Com o intuito de avaliar a viabilidade do projeto, o fluxo de caixa foi montado para em seguida aplicar os métodos quantitativos de análise. A Tabela 18, a seguir, apresenta o fluxo de caixa calculado.

Tabela 18: Fluxo de Caixa do Projeto.

Projeção do Fluxo de Caixa - Valores em mil US\$												
percentual de utilização da planta	0	2	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1	1	1	1
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1. Entradas</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10.770</b>	<b>11.488</b>	<b>12.206</b>	<b>12.924</b>	<b>13.642</b>	<b>14.360</b>	<b>14.360</b>	<b>14.360</b>	<b>14.360</b>	<b>14.360</b>
1.1 Receita de vendas			10.770	11.488	12.206	12.924	13.642	14.360	14.360	14.360	14.360	14.360
1.1.1 PDO												
1.1.2 Subprodutos												
<b>2. Saídas sem impostos</b>	<b>-10.713</b>	<b>-17.015</b>	<b>-4.391</b>	<b>-4.566</b>	<b>-4.742</b>	<b>-4.917</b>	<b>-5.093</b>	<b>-5.268</b>	<b>-5.268</b>	<b>-5.268</b>	<b>-5.268</b>	<b>-5.268</b>
2.1 Custos de Produção			-3.960	-4.107	-4.254	-4.400	-4.547	-4.694	-4.694	-4.694	-4.694	-4.694
2.1.1 Variáveis			-2.202	-2.349	-2.496	-2.642	-2.789	-2.936	-2.936	-2.936	-2.936	-2.936
Matérias-primas:			-1.185	-1.264	-1.343	-1.422	-1.501	-1.580	-1.580	-1.580	-1.580	-1.580
Utilidades:			-1.017	-1.084	-1.152	-1.220	-1.288	-1.356	-1.356	-1.356	-1.356	-1.356
2.1.2 Fixos			-1.758	-1.758	-1.758	-1.758	-1.758	-1.758	-1.758	-1.758	-1.758	-1.758
Mão-de-obra			-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900
Outros custos fixos			-858	-858	-858	-858	-858	-858	-858	-858	-858	-858
2.2 Despesas - ex-juros			-431	-460	-488	-517	-546	-574	-574	-574	-574	-574
2.2.1 Vendas			-108	-115	-122	-129	-136	-144	-144	-144	-144	-144
2.2.2 Administrativas			-108	-115	-122	-129	-136	-144	-144	-144	-144	-144
2.2.3 P & D			-215	-230	-244	-258	-273	-287	-287	-287	-287	-287
2.3 Investimento			-10.713	-17.015								
2.3.1 Investimento Fixo			-10.713	-10.713								
2.3.2 Capital de Giro			-4.159									4.159
2.3.3 Investimento de Partida			-2.143									
2.4 Impostos diretos*			-1.398	-1.577	-1.756	-1.935	-2.114	-2.293	-2.293	-2.293	-2.293	-2.293
<b>4. Saldo (Entradas - Saídas - impostos)</b>	<b>-10.713</b>	<b>-17.015</b>	<b>4.981</b>	<b>5.345</b>	<b>5.708</b>	<b>6.072</b>	<b>6.435</b>	<b>6.798</b>	<b>6.798</b>	<b>6.798</b>	<b>6.798</b>	<b>10.958</b>
Impostos = (Entradas-saídas) - Depreciação)*0,33												

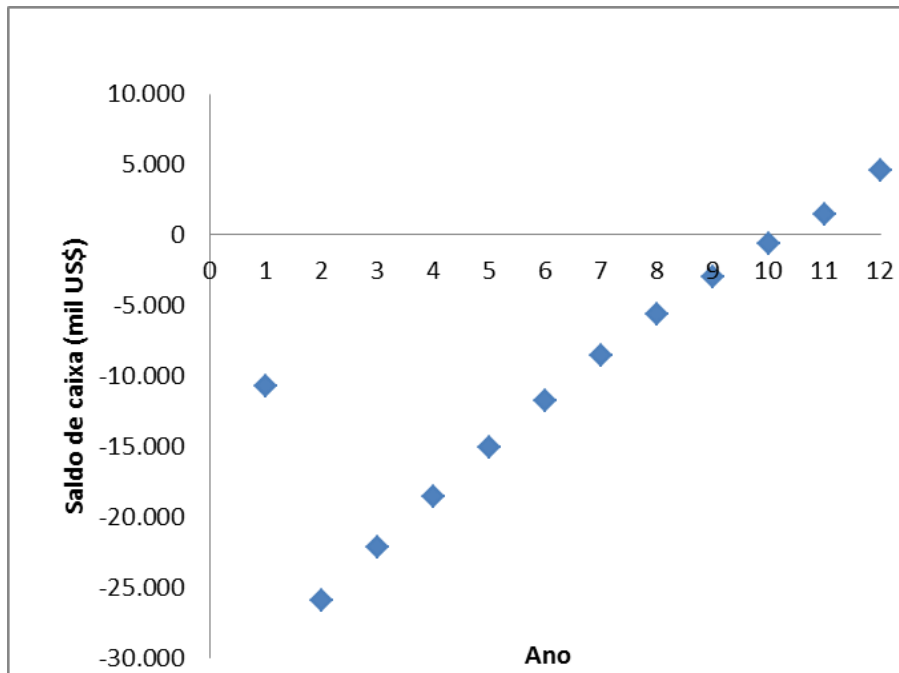
Para avaliar a viabilidade econômica do projeto, será calculado o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o tempo de retorno do capital descontado (Payback descontado), descritos na Tabela 19 e Figura 10.

**Tabela 19: Resultados do VPL e TIR do projeto.**

<b>Custo de Capital (%)</b>	<b>12,00%</b>	a.a.
<b>Valor Presente Líquido</b>	<b>4.571.599</b>	US\$
<b>Taxa Interna de Retorno (%)</b>	<b>15,43%</b>	a.a.

De forma preliminar ao analisar o resultado do VPL, constata-se a viabilidade econômica do processo estudado porque seu valor é positivo e sua TIR apresentou um valor acima do custo de capital. O valor arbitrado para o custo de capital (12%) é indicado para projetos em que a tecnologia seja bem conhecida e praticada por muitos, mostrando baixo risco para investir. Contudo, o estudo elaborado é baseado em uma tecnologia inexistente em escala industrial, o único caso de sucesso em larga escala é da empresa Dupont e esta utiliza uma fonte de carbono diferente bem como seu microrganismo. Portanto entende-se que o risco em levar este processo ainda muito pouco estudado, no sentido de extrapolação de escala, é muito elevado, logo esta TIR não é suficiente para julgar este processo economicamente viável, utilizando uma abordagem mais criteriosa.

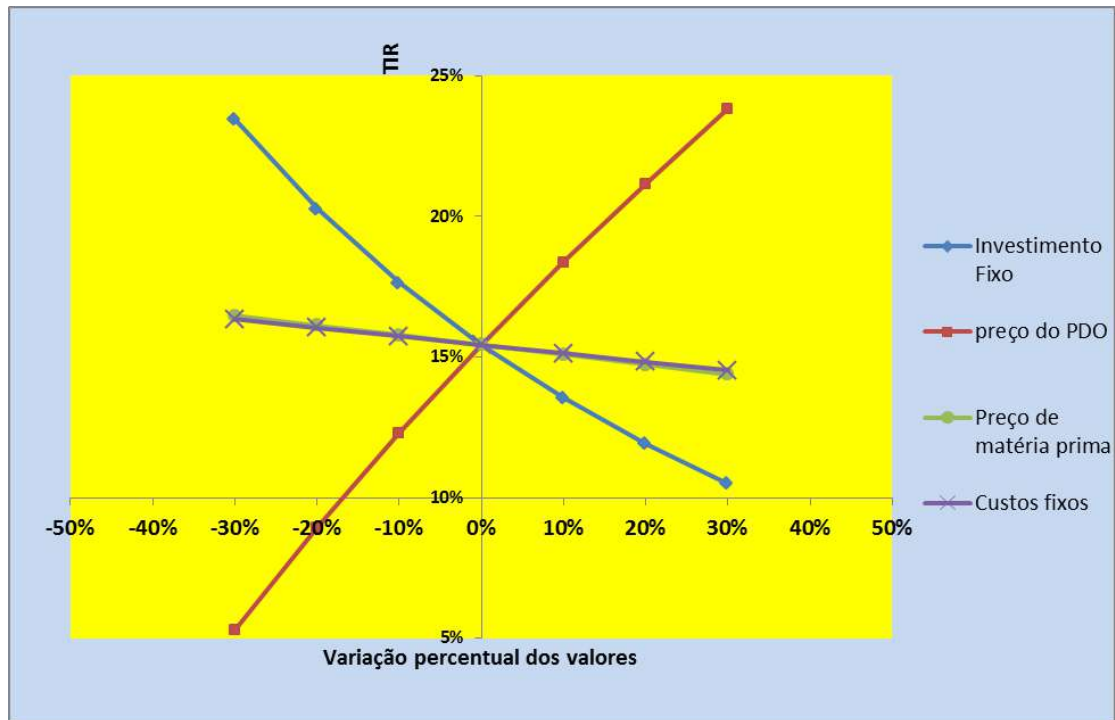
O gráfico na Figura 10 de recuperação de capital descontado mostra que o capital investido é recuperado somente a partir do oitavo ano de operação da planta. Esta análise é levada em conta quando comparada a outro possível projeto ou de acordo com a exigência do dono do capital em ter seu investimento recuperado.



**Figura 10: Tempo de recuperação de capital**



A análise de sensibilidade é feita para entender como a variação de certos parâmetros influencia a TIR do projeto e conseqüentemente sua viabilidade. Neste estudo variou-se os valores de -30% a + 30% do estimado anteriormente como mostra a Figura 11.



**Figura 11: Análise de sensibilidade.**

Observa-se a extrema sensibilidade em relação ao preço do PDO e ao investimento fixo, com uma variação de -20% do preço de PDO ou com um aumento de +20% do investimento fixo o projeto já estaria totalmente inviabilizado apresentando uma TIR abaixo de 12%. Por outro lado, a variação dos custos fixos e do preço de matéria prima não afeta de forma considerável a TIR.

## **VI. CONCLUSÕES**

De forma direta o PDO ainda não possui grande volume comercializado, porém sua utilização como monômero para síntese de PTT vem aumentando, já que este poliéster ganha cada vez mais fatia de mercado devido as suas propriedades físicas interessantes, possuindo elevada resistência a tração quando comparado às fibras de PET e superior resistência à manchas e capacidade de tingimento quando comparado às fibras de nylon. Além disto, ele é originado, em parte, de fonte renovável elevando o apelo pela substituição dos polímeros de fonte exclusivamente petroquímica. Este fato é confirmado pelo estudo PRO-BIP, que revela a potencial demanda a ser conquistada pelos emergentes biopolímeros, em especial o PTT que possuía em 2009 uma possível demanda de 5 milhões de toneladas por ano, levando em conta uma análise mais conservadora da projeção realizada no estudo citado.

A situação atual do Brasil não justifica a instalação de uma planta de produção de PDO para atender a demanda interna deste produto, pois esta ainda é muito pequena e variável. Contudo, se o interesse é atender o mercado internacional, que apresenta crescente demanda de PDO, ou ainda, produzir PTT, que apresenta potencial demanda no mercado internacional, é possível a viabilização de uma unidade de produção de PDO no Brasil.

Outro possível fator da pequena demanda de PDO no mercado nacional é o preço elevado praticado, cerca de US\$ 9/kg. Observando apenas este valor pode-se caracterizar o PDO como especialidade química, mas este conceito se torna conflitante com o fato de sua maior aplicabilidade ser na produção de PTT para o setor de fibras e carpetes. A compreensão deste conflito surge da análise da baixa oferta de PDO no mercado internacional, como a empresa Dupont é a única produtora em larga escala do 1,3-propanodiol por via biotecnológica e sua cadeia produtiva estende-se até o PTT, a oferta deste PDO é feita somente se o seu preço comercializado for compatível com a venda deste na cadeia de PTT.

Este projeto apresentou viabilidade econômica, com VPL positivo e consequentemente TIR acima da taxa mínima de atratividade escolhida. Entretanto, deve-se levar em conta o elevado risco associado a desenvolver este projeto por se tratar de uma tecnologia não existente, portanto, novos estudos devem ser feitos para elevar de forma gradual a escala do projeto, e então, ser capaz de melhorar a precisão dos

## ***CONCLUSÕES***

valores estimados. É interessante destacar a grande sensibilidade que a TIR apresenta ao preço do PDO e ao investimento fixo, desta forma com pequenas oscilações destes o projeto seria inviabilizado.

## **VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABIQUIM, O Custo da Mão de Obra na Indústria Química Brasileira 1994 - 2009, São Paulo, 2010.

ABIQUIM. Guia da Indústria Química Brasileira. Edição 2012

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP), Biodiesel-Introdução, 2012. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acessado em: Janeiro/2014.

BASTOS, V. S. Biorrefinarias, biocombustíveis e química renovável: revolução tecnológica e financiamento, Revista do BNDES 38, 2012.

BROWN, H. S.; CASEY, P.; DONAHUE, M. Poly(Trimethylene Terephthalate) Polymer for Fibers. NF New Fibers. Shell Chemical Company Westhollow Technology Centre, Houston, Texas. 2000.

CHEMICAL ENGINEERING, April 2012.

CHEMICAL ENGINEERING, February 2014.

CHEMICALS-TECHNOLOGY. PTT Poly Canada, a 50:50 jv between Shell Chemicals and SGF Chimie (acquired by ImatosGil Group in 2009) Disponível em: <<http://www.chemicals-technology.com/projects/ptt>>/. Acessado em Abril/2013.

COUPER, J. R. Process Engineering Economics, Arkansas, Marcel Dekker, Inc., 2003.

CRUZ, A. C. ; PEREIRA, F. S. ; COSTA, L. M. ; SILVA, M. F. O. Química verde na ótica dos agentes de mercado, BNDES Setorial 39, 2013.

DOUGLAS, J. M. Conceptual Design of Chemical Process, International Edition, McGraw-Hill, 1988.

DROZDYNSKA, A. ; LEJA, K. ; CZACZYK, K. Biotechnological production of 1,3-propanediol from crude glycerol. Journal of Biotechnology, 2011.

DUPONT, Renewably Sourced Material. Disponível em: <[http://www2.dupont.com/Renewably\\_Sourced\\_Materials/en\\_US/materials.html](http://www2.dupont.com/Renewably_Sourced_Materials/en_US/materials.html)>. Acessado em Fevereiro/2013.

DUPONTTATE&LYLE. Disponível em: <<http://www.duponttateandlyle.com/search/content/facility>>. Acessado em Maio/2013.

GUZMAN, D. POLYOLS from Bio-PDO and Succinic acid. Green Chemicals Blog, 2012. Disponível em: <http://greenchemicalsblog.com>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUZMAN, D. Bio-1,3PDO Market Update. Green Chemicals Blog, 2013a. Disponível em: <http://greenchemicalsblog.com>.

GUZMAN, D. US DuPont expects \$1.2bn in 2012 sales for industrial biotech. Disponível em: <http://www.icis.com/Articles/2012/02/22/9535069/us+dupont+expects+1.2bn+in+2012+sales+for+industrial.html>. Acessado em Maio/2013b.

JAGGER, A. SOCMA: Green technologies almost ready to. Disponível em: <http://www.icis.com/Articles/2012/10/01/9599033/socma+green+technologies+almost+ready+to+go.html>. Acessado em Maio/2013.

MARKETS AND MARKETS. 1,3-Propanediol (PDO) Market By Applications (PTT [Polytrimethylene Terephthalate], Polyurethane, Cosmetic, Personal Care & Home Cleaning & other Applications) & Geography - Global Market Trends & Forecasts to 2019. Disponível em: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/1-3-propanediol-pdo-market-760.html>. Acessado em: Abril/2013.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <http://alicesweb2.mdic.gov.br//consulta-ncm/consultar>. Acessado em Abril/2013.

NAKAMURA, C. E.; WHITED, G. M. Metabolic engineering for the microbial production of 1,3-propanediol. *Current Opinion in Biotechnology*, Volume 14, Issue 5, October 2003.

PAVONE, A. Cerenol™—DuPont Polyether Glycol Made from 1,3-Propanediol (PDO). IHS Chemical, PEP Review. 2013.

PERRONE, O. V. A Indústria Petroquímica no Brasil, Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

PERRY, R. H. *Chemical Engineering HandBook*, McGraw-Hill, 1997.

PETERS, M. S. ; TIMMERHAUS, K. D. *Plant design and Economics for Chemical Engineers*, 4ª edição, New York, McGraw-Hill, 1991.

SAXENA, R. K. ; ANAND, P. ; SARAN, S. ; ISAR J. Microbial production of 1,3-propanediol: Recent developments and emerging opportunities, 2009.

SHEN, L. ; HAUFE , J. ; PATEL , M. K. Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. Final Report. University of Utrecht, 2009.

SIEDER, W. D. ; SEADER, J. D. ; LEWIN, D. R. *Product & Process Design Principles*, 2ª edição, John Wiley and Sons Inc., 2003.

SILVA, G. P. ; CONTIEROB, j. ; ÁVILA, P. M. ; LIMAB, C. J. B. 1,3-Propanediol: Produção, aplicação e potencial biotecnológico. Revisão, *Quim. Nova*, Vol. XY, No. 00, 1-8, 20013.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

SRI CONSULTING. 1,3-Propanediol and PolyTrimethylene Terephthalate. Process Economics Program Report 277.1999.

Tate & Lyle. DuPont Tate & Lyle Bio Products Begin BioPDO™ Production in Tennessee. Disponível em:  
<<http://www.tateandlyle.presscentre.com/content/detail.aspx?releaseid=89&news>>. Acessado em Fevereiro/2013.

UNIDO. Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies. New York: United Nations, 1978.

WOILER, S. ; MATHIAS, W. F. Projetos: Planejamento, Elaboração e Análise, São Paulo, ATLAS, 1991.

WONGSTSCHOWSKI, P. Indústria Química: Riscos e Oportunidades, São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

ZENG, A. P. ; BIEBL, H. Bulk chemicals from biotechnology: the case of 1,3-propanediol production and the new trends, 2002.