



UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

LUÍZA MONTEIRO DE MELO
LUIZ HENRIQUE ROALE BAPTISTA PEREIRA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO E ECONÔMICA PARA A PRODUÇÃO DE
BIOETANOL A PARTIR DOS RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSAMENTO DE
LARANJA

Rio de Janeiro, RJ

2020

LUÍZA MONTEIRO DE MELO
LUIZ HENRIQUE ROALE BAPTISTA PEREIRA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO E ECONÔMICA PARA A PRODUÇÃO DE
BIOETANOL A PARTIR DOS RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSAMENTO DE
LARANJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a Obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Rio de Janeiro, RJ
2020

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer, a priori, aos nossos pais e familiares por todo o suporte e motivação ao longo destes anos passados dentro do curso de Engenharia Química da UFRJ.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a Escola de Química pela oportunidade de estudar em uma faculdade renomada e de tradição, onde fomos capazes de vivenciar diversas experiências, estas essenciais para o nosso desenvolvimento como pessoas e profissionais.

Ao nosso orientador Fábio Oroski pela pronta disposição, pelo auxílio e pela compreensão durante todo o processo de desenvolvimento desse trabalho, estando presente e participativo em todas as suas etapas.

Aos nossos companheiros e amigos por todos os momentos divididos ao longo desses anos, momentos estes sem os quais não teríamos chegado até aqui.

E a todos que contribuíram de alguma forma na nossa formação ao longo deste período, direta ou indiretamente.

RESUMO

O setor citrícola brasileiro vem se mostrando cada vez mais significativo dentro da economia brasileira e do cenário citrícola mundial. Neste contexto, o presente trabalho buscou entender o setor, assim como as alternativas existentes para aproveitamento dos resíduos gerados durante a produção de suco de laranja, estes que têm causado grandes preocupações para as empresas, que buscam melhores alternativas para destiná-lo e se possível também rentabilizá-lo. Neste sentido, foi definido como objeto de estudo, a viabilidade econômica da instalação de uma planta produtora de bioetanol, biogás e limoneno a partir do processamento deste resíduo, por meio de estimativas de investimento e custos, e posterior cálculo de indicadores de viabilidade econômica como o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o payback. A partir da determinação de três escalas de processamento de resíduo; 100.000 ton/ano, 200.000 ton/ano e 400.000 ton/ano, avaliou-se estes indicadores para cada um dos cenários propostos e constatou-se que o último aparenta ser o mais promissor economicamente por conta da economia de escala. Além disso, foi possível avaliar que a viabilidade do projeto em questão é muito dependente da capacidade de se rentabilizar também os subprodutos gerados no processo, principalmente o limoneno, visto que o custo do bioetanol produzido possui um valor unitário relativamente alto frente ao seu concorrente produzido a partir da cana-de-açúcar no Brasil.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — Desempenho da cultura da laranja no Brasil, no período 1975-2018 ..	15
Gráfico 2 — Principais estados produtores de laranja em 2018	17
Gráfico 3 — Representatividade dos Componentes no Custo Total.....	63
Gráfico 4 — Análise de Sensibilidade para o Custo de Mão de Obra.....	72
.....	72
Gráfico 5 — Análise de Sensibilidade para o Custo de Matéria-Prima	73
.....	73
Gráfico 6 — Análise de Sensibilidade para o Preço de Venda do Limoneno.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Localização das fábricas de processamento de suco de laranja no estado de São Paulo	18
Figura 2 — Rendimento teórico de produtos e subprodutos da laranja a partir de 100 kg.....	33
Figura 3 — Etapa de lavagem dos frutos	34
Figura 4 — Separação dos frutos após seleção para abastecimento dos extratores	34
Figura 5 — Série de extratores tipo Brown.....	35
Figura 6 — Diagrama de blocos do processo de obtenção de etanol a partir do resíduo da indústria de suco de laranja	38
Figura 7 — Esquema do processo de obtenção de etanol e seus coprodutos a partir de resíduo da indústria de suco de laranja	51
Figura 8 — Economia de Escala no Processamento de Resíduo.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Componentes do Investimento Fixo.....	21
Quadro 2 — Principais resíduos gerados e suas respectivas etapas do processo, potenciais produtos e rotas tecnológicas.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Produção brasileira de laranja em 2018 por unidade federativa.....	16
Tabela 2 — Produção Brasileira de Laranja em 2018 por região	17
Tabela 3 — Área, produção e rendimento de laranja no Brasil, no período 1975-2017	17
Tabela 4 — Os cinco maiores estados brasileiros produtores de laranja em 2018..	19
Tabela 5 — Produção em cada Cenário	59
Tabela 6 — Investimento de Capital Fixo x Capacidade da Planta	61
Tabela 7 — Atualização do Salário Médio para 2020.....	62
Tabela 8 — Estimativa Custo de Mão de obra	62
Tabela 9 — Estimativa Custo de Manutenção	62
Tabela 10 — Estimativa Custo de Seguro.....	63
Tabela 11 — Estimativa de Despesas Operacionais.....	63
Tabela 12 — Valores estimados de custos fixos e suas parcelas	63
Tabela 13 — Estimativa Custo de Matéria-Prima.....	64
Tabela 14 — Estimativa Custo de Utilidades e Consumíveis	65
Tabela 15 — Valores estimados do custo total de produção e suas parcelas	65
Tabela 16 — Estimativa de Receitas	67
Tabela 17 — Cálculo dos Indicadores de Viabilidade Econômica (Taxa de Desconto de 10% a.a)	74
Tabela 18 — VPL(USD\$) para diferentes taxas de desconto.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEPCI	<i>Chemical Engineering Plant Cost Index</i>
CSLL	Contribuição Social do Lucro Líquido
DFC	Demonstração do Fluxo de Caixa
DRE	Demonstração do resultado do exercício
EBIT	<i>Earnings Before Interest and Taxes</i>
EBITDA	<i>Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISBL	<i>Inside Battery Limits</i>
OSBL	<i>Outside Battery Limits</i>
PIB	Produto Interno Bruto
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TIR	Taxa Interna de Retorno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	LOCALIZAÇÃO DO SETOR CITRÍCOLA BRASILEIRO	18
2.2	CENÁRIO MUNDIAL DE PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE SUCO CONCENTRADO DE LARANJA	20
3.	METODOLOGIA	22
3.1	ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO	22
3.2	ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUÇÃO	24
3.2.1	Custos Fixos de Produção	24
3.2.1.1	Custos de Mão-de-Obra	25
3.2.1.2	Custos de Manutenção	25
3.2.1.3	Custos com Seguro	26
3.2.1.4	Despesas Operacionais	27
3.2.2	Custos Variáveis de Produção	28
3.2.2.1	Custos de Matéria-Prima	28
3.2.2.2	Custos de Utilidades e Consumíveis	29
3.2.3	Imposto de Renda	30
3.3	ELABORAÇÃO DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS	31
3.4	ESTIMATIVA DE RECEITAS	32
3.5	INDICADORES ECONÔMICOS DE VIABILIDADE E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	32
4.	PRODUTOS POTENCIAIS, ROTAS E PROCESSO DE PRODUÇÃO ..	35
4.1	ETAPAS DO PROCESSAMENTO DO SUCO DE LARANJA	35
4.2	PROPOSTAS PARA O REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS	42
4.3	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DO RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE SUCO DE LARANJA	49
4.3.1	Pré-tratamento da biomassa cítrica	50
4.3.2	Hidrólise	50
4.3.3	FERMENTAÇÃO	51
4.4	PROPOSTA DO FLUXOGRAMA DO PROCESSO	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE ECONÔMICA	57
5.1	CENÁRIOS PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA	57
5.1.1	Escolha da Localização	58
5.2	INVESTIMENTO	59
5.3	CUSTOS DE PRODUÇÃO	60
5.3.1	Custos Fixos de Produção	60
5.3.1.1	Custos de Mão-de-Obra	60
5.3.1.2	Custos de Manutenção	61
5.3.1.3	Custos com Seguro	62
5.3.1.4	Despesas Operacionais	62
5.3.2	Custos Variáveis de Produção	63

5.3.2.1	Custos de Matéria-Prima.....	63
5.3.2.2	Utilidades e Consumíveis.....	64
5.4	ESTIMATIVA DE RECEITAS.....	65
5.5	ELABORAÇÃO DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS.....	66
6	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	80
	ANEXO A — CONTINUAÇÃO - DEMONSTRATIVO DE RESULTADO EM EXERCÍCIO – CENÁRIO 2.....	88

1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de produção de laranja junto com a de suco concentrado é líder no mercado mundial e alcança números expressivos para a economia brasileira. Atualmente o primeiro segmento gera em torno de US\$2 bilhões a partir da venda das frutas in natura para o mercado varejista, ou para as empresas processadoras de suco, enquanto, o segundo segmento movimenta em torno de US\$ 2,2 bilhões, sendo o Brasil responsável pela produção de três a cada cinco copos de suco de laranja consumidos no mundo (Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Citricos, 2020).

Concentrada no estado de São Paulo e no triângulo sudoeste mineiro, as grandes indústrias e os citricultores fizeram desta região um polo de cultivo e processamento da fruta e possuem hoje uma estrutura consolidada de logística para o escoamento dos produtos tanto para o mercado interno quanto para o externo através do porto localizado na cidade de Santos (SP).

A produção de laranja foi de cerca de 17 milhões de toneladas na safra de 2019 (IBGE, 2019), e estima-se que 72% dessa massa seja destinada ao processamento para a produção de suco, totalizando 12,7 milhões de toneladas do fruto (Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Citricos, 2020).

Ao longo da cadeia produtiva brasileira estima-se que apenas 50% da massa processada seja transformada efetivamente em suco concentrado (REZZADORI; BENEDETTI; AMANTE, 2012), sendo a outra metade considerada resíduo de processo, gerando cerca de 6,35 milhões de toneladas de resíduos anualmente. A maior parte destes resíduos é composta por sementes, casca e resíduos de membrana que restam após a extração do suco (WILKINS; SURYAWATI; MANESS, 2007) — de forma a mitigar os impactos ambientais relacionados à disposição final destes produtos, os mesmos deverão ser processados devidamente. Nesse contexto, apesar de hoje em dia existirem várias novas tecnologias em desenvolvimento para o reaproveitamento destes resíduos, até relativamente pouco tempo atrás não existiam métodos de descarte satisfatórios, sendo os principais utilizados o despejo dos resíduos em porções de terra adjacentes aos locais de produção, a utilização dos resíduos como matéria-prima na produção de ração para agropecuária ou então a queima dos mesmos. (LAPUERTA et al., 2008).

Contudo, estes processos ainda assim têm um alto potencial poluidor e ignoram o potencial de reaproveitamento destes resíduos.

Dentro das propostas de tecnologias promissoras para reaproveitamento de resíduos da produção de suco de laranja, destacam-se as seguintes: A produção de bio-óleo e bio-carvão, a produção integrada de bio-etanol, biogás e limoneno, a produção de pectina, a extração de óleos essenciais e a utilização dos resíduos sólidos como adsorventes (REZZADORI; BENEDETTI; AMANTE, 2012).

Dentre as alternativas apresentadas, foi definido como principal foco deste estudo a análise da rota tecnológica para a produção de bioetanol, biogás e limoneno, devido sua versatilidade de aplicação, a relativa simplicidade do processo e o fato do custo da matéria-prima ser inferior quando comparado com os custos de outros processos de produção de etanol que envolvem a lignocelulose (REZZADORI; BENEDETTI; AMANTE, 2012).

Sendo assim, identificada a oportunidade de se rentabilizar a geração de resíduos a partir do seu processamento, o objetivo desse trabalho consiste em realizar um estudo de viabilidade técnico e econômica para a instalação de uma unidade industrial produtora de bioetanol, biogás e limoneno. Essa avaliação será feita por meio da elaboração de demonstrativos de resultado em exercício (DRE) e demonstrativos de fluxo de caixa (DFC) a partir de estimativas de custos e investimentos necessários para a instalação da planta em questão, além de indicadores de viabilidade que serão calculados a partir destes demonstrativos como o VPL, a TIR e o payback. Por fim, busca-se também identificar quais variáveis impactam mais a avaliação de viabilidade econômica o que será feito por meio da análise de sensibilidade, variando-se algumas variáveis escolhidas e analisando-se o quanto elas impactam nos indicadores citados anteriormente.

A primeira parte deste trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre o cenário do setor citrícola brasileiro, sua localização e a representatividade do Brasil na produção e exportação de suco de laranja. Adiante, é apresentado os principais resíduos envolvidos na produção do suco de laranja e as tecnologias disponíveis para o reaproveitamento dos resíduos em subprodutos com valor agregado, seguido da proposta escolhida de reaproveitamento do resíduo para a produção de bioetanol, limoneno e biogás, em uma biorrefinaria de pequeno porte. A segunda parte do trabalho possui foco na análise de viabilidade econômica de uma biorrefinaria para a

produção de etanol de segunda geração a partir do resíduo da indústria do suco de laranja, com geração de subprodutos como o limoneno e biogás, buscando identificar os custos de produção e as principais etapas que contribuem para o custo de produção do etanol, além da análise de investimento inicial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A laranjeira é umas das árvores frutíferas mais conhecidas, cultivadas e estudadas no mundo sendo a maioria das árvores cítricas nativas da Ásia (FERNANDES, 2010).

Acredita-se que a laranja seja originária da China, por volta de 4.000 anos atrás. O comércio entre as nações e as guerras ajudaram a expandir o cultivo dos citros, de modo que, na Idade Média, a laranja foi levada pelos árabes para a Europa (NEVES et al., 2011).

As laranjeiras chegaram ao Brasil na época da colonização com objetivo principal de ser utilizada no combate da doença escorbuto, causada pela carência de vitamina C no organismo, responsável por dizimar tripulações no período do descobrimento (FERNANDES, 2010).

A laranja encontrou no Brasil clima e solo favoráveis proporcionando ao país a produção de inúmeras variedades da fruta, permitindo abastecer o mercado interno, com as ditas laranjas de mesa, consumidas in natura, quanto a laranja produzida para as indústrias de suco, que se adaptam às especificações de sabor, acidez, teor de vitamina C, quantidade de células (popularmente conhecido como gominhos), do mercado internacional.

Depois de instalada no país, a cultura seguiu os caminhos da cafeicultura, que sofria uma significativa retração da área plantada em função da geada em 1918, da crise financeira mundial, da seca na década de 1920 e da infestação com nematoides. Diante de todos esses problemas a laranja foi caminhando para a região do Vale do Paraíba no interior paulista na década de 1940, tornando-se uma opção para substituir o café na região (NEVES et al., 2011).

O desenvolvimento tecnológico incentivado pelos órgãos governamentais ligados ao setor proporcionou o desenvolvimento, expansão e a consolidação da atividade, que se tornou de grande importância econômica e social no país (NEVES et al., 2011).

Ao longo dos anos o Brasil se tornou o primeiro produtor mundial de citros e o maior exportador de suco concentrado de laranja - principal produto do complexo agroindustrial da citricultura brasileira (FERNANDES, 2010).

A produção brasileira se dá em todas as unidades federativas, isto porque há demanda do mercado interno para o consumo da fruta in natura, no qual se popularizou em todo o país, tornando-se uma das frutas mais consumidas devido ao seu rico poder nutritivo e paladar agradável à maioria dos brasileiros. Nas tabelas a seguir (Tabelas 1 e 2), é possível verificar dados da produção brasileira em 2018, por estado da federação e por região.

Tabela 1 — Produção brasileira de laranja em 2018 por unidade federativa

Unidade da Federação	Área destinada à colheita (Ha)	Área colhida (Ha)	Quantidade produzida (Toneladas)	Rendimento médio da produção (Kg/ha)
Acre	530	480	6997	14577
Alagoas	11351	11346	166744	14696
Amapá	746	698	5156	7387
Amazonas	2784	2768	45775	16537
Bahia	53595	50995	604023	11845
Ceará	1159	1159	8266	7132
Distrito Federal	50	50	1010	20200
Espírito Santo	1350	1350	18633	13802
Goiás	6679	6679	139163	20836
Guanabara
Maranhão	542	542	3420	6310
Mato Grosso	461	461	4258	9236
Mato Grosso do Sul	863	848	24130	28455
Minas Gerais	36534	36534	948129	25952
Pará	13633	13628	168293	12349
Paraíba	697	697	4398	6310
Paraná	22505	22505	834513	37081
Pernambuco	554	554	3061	5525
Piauí	207	207	1992	9623
Rio de Janeiro	4425	4425	55748	12598
Rio Grande do Norte	97	97	929	9577
Rio Grande do Sul	22519	22353	367725	16451
Rondônia	456	447	6850	15324

Roraima	1539	1464	18036	12320
Santa Catarina	1743	1734	30953	17851
São Paulo	376646	376292	12889878	34255
Sergipe	33555	30778	354960	11533
Tocantins	48	48	494	10292

Fonte: Produção Agrícola Municipal -2018 IBGE (2019)

Tabela 2 — Produção Brasileira de Laranja em 2018 por região

Grande Região	Área destinada à colheita (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio da produção (t/ha)	Participação na produção (%)
Norte	19.736	19.533	251.601	12,88	1,51
Nordeste	101.757	96.375	1.147.793	11,91	6,87
Sudeste	418.955	418.601	13.912.388	33,24	83,24
Sul	46.767	46.592	1.233.191	26,47	7,38
Centro-Oeste	8.053	8.038	168.561	20,97	1,00
Brasil	595.268	589.139	16.713.534	28,37	100

Fonte: Produção Agrícola Municipal IBGE (2019)

O histórico de área, produção e rendimento de laranja no Brasil (Tabela 3 e Gráfico 1), mostra a representatividade da atividade ao longo dos anos, que mesmo após crises econômicas, doenças que assolaram plantações como o *greening* (doença bacteriana que resulta na queda prematura dos frutos em árvores novas e até a interrupção da produção em árvores afetadas, descoberto no Brasil em 2004), alterações climáticas, incentivos fiscais oscilatórios, entre outros, mantiveram o país como líder mundial na produção da fruta.

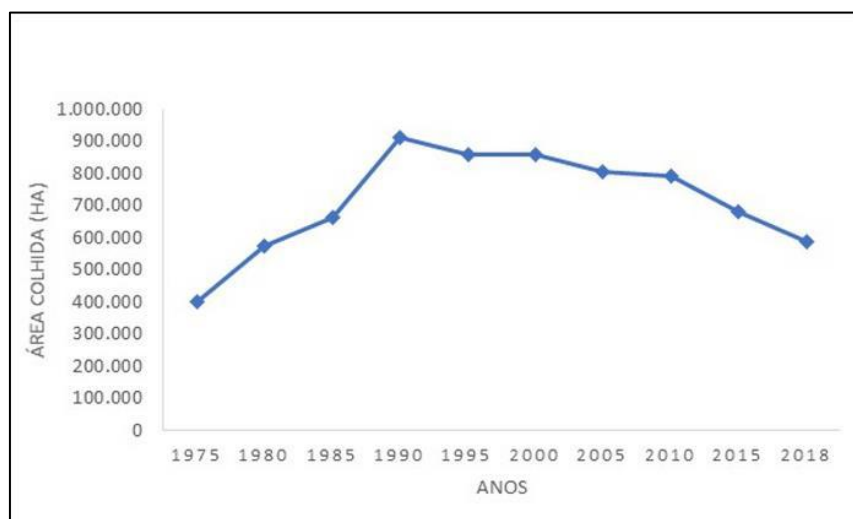
Tabela 3 — Área, produção e rendimento de laranja no Brasil, no período 1975-2018

Anos	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio da produção até 2000 (frutos/ha) a partir de 2001 (t/ha)
1975	403.192	31.566	78.290
1980	575.249	54.459	94.670
1985	663.063	71.072	107.187
1990	912.996	87.603	95.950
1995	856.419	99.186	115.814
2000	856.422	106.651	124.531

2005	805.665	17.853	22,16
2010	792.753	18.503	23,34
2015	678.807	16.953	24,98
2018	589.139	16.714	28,37

Fonte: Produção Agrícola Municipal, 2018 IBGE (2019)

Gráfico 1 — Desempenho da cultura da laranja no Brasil, no período 1975-2018



Fonte: Produção Agrícola Municipal, 2018 IBGE (2019)

Além de ser um setor muito competitivo, a citricultura se mostra muito rentável ao país, desde o fertilizante utilizado pelo produtor até a laranja consumida em casa ou o suco vendido, para principalmente o mercado europeu, o complexo citrícola movimenta bilhões de dólares que circulam pela economia brasileira. Além disso, o setor emprega aproximadamente 230 mil pessoas diretamente, contribuindo assim para o desenvolvimento nacional e regional (Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos, 2020).

A venda de cítricos in natura no mercado interno gera US\$1,8 bilhões, enquanto as exportações US\$ 73 milhões. Já a indústria de sucos movimenta US\$2,2 bilhões, valor explicado pela produção competitiva e em larga escala, que utiliza avançada tecnologia e complexo sistema logístico. O valor gasto com insumos industriais é uma prova disso: são 327,9 milhões de dólares, grande parte alocada em gastos com energia, que incluem fontes limpas como o bagaço de cana. A maioria dos sucos cítricos produzidos industrialmente, quase 97%, é exportada para depois ser engarrafada. Uma pequena parcela é comprada por engarrafadores no Brasil e

vendida no mercado interno, ainda muito reduzido para o suco de laranja industrializado (Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Citricos, 2020).

2.1 LOCALIZAÇÃO DO SETOR CITRÍCOLA BRASILEIRO

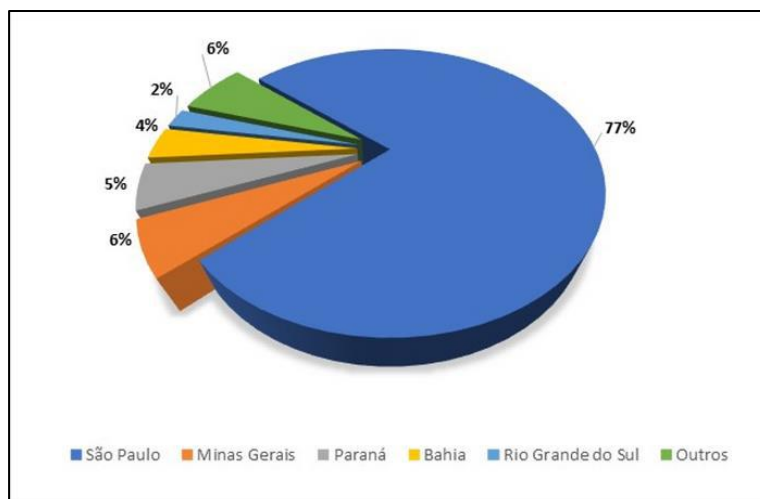
A principal região produtora de laranja no Brasil, denominada cinturão citrícola, engloba o estado de São Paulo e o Triângulo/Sudoeste Mineiro, com representatividade de aproximadamente 83%. O estado de São Paulo por sua vez, destaca-se como maior produtor da fruta, responsável por 77% de toda a produção nacional de acordo com dados de Produção Agrícola Municipal de 2018 (gráfico 2), divulgados pelo IBGE. A produção paulista de 2018 foi de quase 13 milhões de toneladas, enquanto a produção mineira, que ocupa a segunda posição dos estados mais representativos na produção de laranja, chegou a marcas de 948 mil toneladas (Tabela 4).

Tabela 4 — Os cinco maiores estados brasileiros produtores de laranja em 2018.

Unidade da Federação	Área destinada à colheita (Ha)	Área colhida (Ha)	Quantidade produzida (Toneladas)	Rendimento médio da produção (t/ha)
São Paulo	376.646	376.292	12.889.878	34,26
Minas Gerais	36.534	36.534	948.129	25,95
Paraná	22.505	22.505	834.513	37,08
Bahia	53.595	50.995	604.023	11,85
Rio Grande do Sul	22.519	22.353	367.725	16,45
Outros	83.469	80.460	1.069.266	282,47

Fonte: Produção Agrícola Municipal, 2018 IBGE.

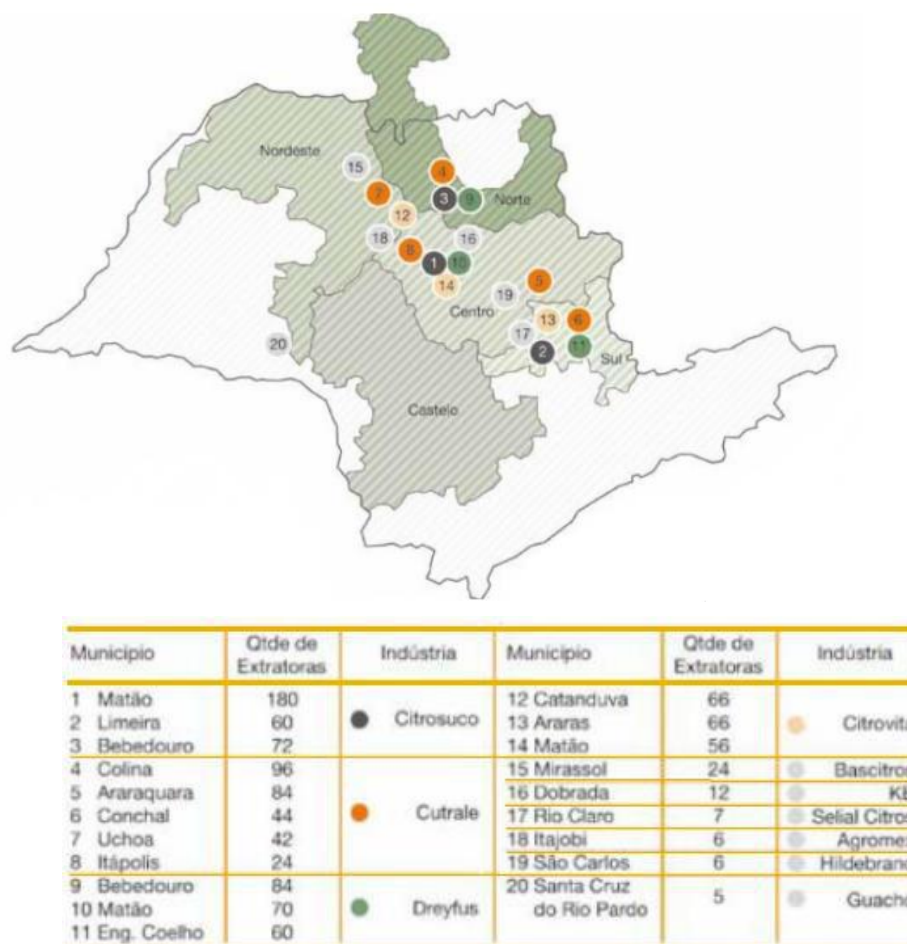
Gráfico 2 — Principais estados produtores de laranja em 2018



Fonte: IBGE (2019).

Somente no estado de São Paulo em torno de 320 municípios contribuem para que o Brasil ocupe a primeira posição no mercado mundial de suco de laranja, sendo aproximadamente 10 unidades industriais, que em parceria com os produtores da região, produzem cerca de 1,3 milhão de toneladas de suco, das quais 97% é destinado para exportação. Os maiores importadores do suco de laranja do Brasil são a União Europeia e os Estados Unidos.

Figura 1 — Localização das fábricas de processamento de suco de laranja no estado de São Paulo.



Fonte: Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos.

2.2 CENÁRIO MUNDIAL DE PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE SUCO CONCENTRADO DE LARANJA

Em 2018, a quantidade de suco concentrado de laranja produzido no mundo totalizou 2,2 milhões de toneladas, um aumento de 6% em relação ao ano anterior. Em termos de valor, esta produção representou cerca de U\$3,4 bilhões estimados a preço de exportação (RESEARCH AND MARKETS, 2019).

As exportações mundiais de suco concentrado de laranja totalizaram 1,3 milhão de toneladas em 2018, apresentando um crescimento de 16% em relação ao ano anterior, que em termos de valor, representam um total de U\$ 2 bilhões (RESEARCH AND MARKETS, 2019).

Os números brasileiros impressionam, pois, em 2018, a produção de suco concentrado de laranja atingiu a marca de 1,1 milhão de toneladas, quase três vezes maior que o segundo mais representativo produtor, o Estados Unidos que alcançou uma produção de 413 mil toneladas. O terceiro lugar na produção de suco concentrado de laranja foi o México, que totalizou 137 mil toneladas (RESEARCH AND MARKETS, 2019).

O Brasil foi o maior exportador de suco concentrado do mundo em 2018, com uma exportação de cerca de 381 mil toneladas, que representou 30% do total de exportações, seguido da Bélgica com aproximadamente 146 mil toneladas, com uma participação de 12% no total de exportações, Holanda (12%), México (11%), Costa Rica (9,4%) e Alemanha (5,2%). O México vem sendo o exportador que mais cresce no mundo, com um crescimento médio de 29,4% no período entre 2008 e 2018 (RESEARCH AND MARKETS, 2019).

Segundo o economista e historiador Luiz Fernando Paulillo, foi justamente a produção de suco, iniciada nos anos 60, que alavancou o plantio de citros no estado, tornando a citricultura paulista uma das maiores do mundo (COOPERCITRUS COOPERATIVA DE PRODUTORES RURAIS, 2019).

Devido a representatividade do estado de São Paulo, o porto de Santos é o principal terminal no que se diz respeito à exportação de suco de laranja. O suco que sai das fábricas é transportado em tanques refrigerados e sem contato com o ar. No porto, o suco é armazenado e por meio de um sucoduto, transferido para navios-tanque adequados e na temperatura ideal para exportação. Os navios que realizam essa operação possuem capacidade para até 43 mil toneladas de suco (SANTOS; PATTO; TAVARES, 2019).

3. METODOLOGIA

Apesar do Brasil possuir representatividade significativa no setor de produção de suco de laranja e etanol, não há muitos estudos de avaliação técnico econômica com aplicabilidade para a produção de etanol de segunda geração derivado do resíduo da indústria citrícola na comunidade acadêmica brasileira. Por isto, depois da identificação da oportunidade de agregação de uma biorrefinaria a uma planta produtora de suco de laranja com o objetivo de produzir etanol, limoneno e biogás a partir do resíduo gerado na produção de suco de laranja, faz-se necessário a etapa de estudo de viabilidade econômica.

O modelo de avaliação econômica baseia-se em cinco principais partes: estimativa do investimento, estimativa de custos operacionais, estimativa de receita, elaboração das análises contábeis (DRE e DFC) e cálculo dos indicadores econômicos de viabilidade junto com a análise de sensibilidade. Esta seção tem como objetivo descrever a metodologia utilizada para determinação de todas estas etapas.

3.1 ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO

O investimento fixo em uma unidade produtiva pode ser definido como o custo total para se projetar, construir e instalar uma planta industrial, envolvendo todos os bens, tangíveis ou intangíveis, vinculados ao projeto. Segundo Towler e Sinnott (2013) o mesmo é constituído pelas seguintes parcelas:

a) Inside Battery Limits Plant Cost (ISBL): Contém o custo de aquisição e instalação dos equipamentos de processo da unidade, tubulações, instrumentos, obras civis e tudo que estiver envolvido diretamente na produção. De forma resumida, é o custo da planta em si.

b) Outside Battery Limits Plant Cost (OSBL): São os custos de aquisição e instalação de componentes necessários para acomodar a operação da nova planta, como por exemplo: Equipamentos de utilidades, geradores, subestações, laboratório, escritórios, vestiários, oficinas, dentre outros.

c) Custos de Engenharia: Envolvem os custos relacionados ao detalhamento do projeto e a outros serviços de engenharia necessários. Este componente torna-se relevante a medida que a maioria das empresas não possuem um corpo de engenheiros suficiente para realizar um projeto de uma planta industrial. Logo, uma ou mais empresas de engenharia acabam sendo contratadas.

d) Encargos de Contingência: São custos extras adicionados no orçamento do projeto para suportar possíveis variações ou erros nas estimativas de custos iniciais e eventuais problemas inesperados.

É possível calcular o investimento de capital fixo, conforme equação adaptada de Towler e Sinnott (2013).

$$C_2 = C_1 * (S_2/S_1)^n * FL * IC \quad (1)$$

Onde, C_2 é o investimento fixo preliminar a ser calculado para uma capacidade de processamento S_2 , C_1 é o investimento fixo utilizado como referência de uma planta semelhante com capacidade S_1 , n é o fator de extrapolação do método, responsável por representar a economia de escala, IC é o índice de correção temporal e tem como função atualizar o valor de referência para os dias atuais e FL é o fator de localização, que tem como função corrigir os valores encontrados com base nas diferenças de custo provenientes da diferença de localização entre a planta a ser instalada e a planta utilizada como referência.

O fator índice de correção temporal utilizado foi o CEPCI 2019 (JENKINS, 2020). O fator de correção pode ser calculado dividindo-se o valor do índice de 2019, pelo valor do índice para o ano da planta utilizada como referência.

Os componentes do investimento fixo obtidos através de correlações empíricas apresentadas por Towler e Sinnott (2013) encontram-se compilados no quadro a seguir:

Quadro 1 — Componentes do Investimento Fixo

Parâmetros	Relações Empíricas
Investimento Fixo	$IF = I1+I2+I3+I4$
ISBL	$I1$
OSBL	$I2=0,4*I1$
Custos de Engenharia	$I3= 0,2*(I1+I2)$
Encargos de Contingência	$I4=01*(I1+I2)$

Fonte: Adaptado de Towler e Sinnott (2013)

O capital de giro pode ser considerado como um custo adicional ao investimento inicial para iniciar a fábrica e mantê-la funcionando, este custo está vinculado à manutenção da operação da planta. De acordo com Towler e Sinnott (2013), o capital de giro pode variar de 5% do investimento inicial fixo para processos simples de produção e de produto único, até 30% para processos mais complexos com uma grande diversidade de produtos. Para o presente trabalho, adotou-se um valor de 10% do investimento inicial fixo para estimativa do capital de giro.

3.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUÇÃO

A determinação do investimento de capital necessário para a construção de uma planta industrial é apenas uma das etapas de um estudo de viabilidade técnica e econômica. Outra etapa tão importante quanto esta, consiste na determinação dos custos totais para se operar a planta e vender os seus produtos. Esta etapa do estudo é fundamental para se determinar a lucratividade de um projeto. Nesse contexto, este tópico tem como objetivo estimar o custo total de produção, dividindo o mesmo em duas parcelas, os custos variáveis de produção e os custos fixos de produção. Os mesmos serão explorados mais detalhadamente a seguir.

3.2.1 Custos Fixos de Produção

Os custos fixos de produção consistem em gastos que são recorrentes, independentemente da quantidade produzida pela planta. Como custos fixos, estão

inclusos custos com mão-de-obra, manutenção, despesas gerais de seguros e taxas. Os mesmos serão explorados mais detalhadamente a seguir.

3.2.1.1 Custos de Mão-de-Obra

O custo de mão-de-obra pode ser entendido como o custo total de todos os colaboradores envolvidos em um negócio. Este, se mostra um dos custos operacionais mais substanciais nos quais envolvem os salários e benefícios pagos aos operadores e funcionários da planta.

As fábricas em sua maioria operam em regime de turnos, período de oito horas de trabalho para garantir a operação contínua de suas atividades, em que os operadores são divididos e trabalham em escalas distintas, que podem ou não coincidir com o horário administrativo mais comumente aplicado em outros setores.

Os gerentes e engenheiros que constituem a equipe de supervisão normalmente trabalham em horário comercial, não seguindo o regime de turnos. Eles costumam ser responsáveis pela supervisão das operações em várias instalações ao mesmo tempo. Assim, do ponto de vista contábil, é como se apenas uma certa fração de seu tempo fosse dedicada a uma determinada unidade. Conseqüentemente, ao fazer um cálculo detalhado do custo total da mão de obra por turnos, eles devem ser separados dos operadores que trabalham em escala de turnos. Uma forma prática de contabilizá-los é representar a supervisão que realizam por uma porcentagem fixa do valor total dos salários dos operadores de turnos existentes. Como regra geral, essa taxa é calculada entre 20 e 25% (CHAUVEL; FOURNIER; RAIMBAULT, 2003). Para fins deste trabalho, adotou-se a taxa de 25% do salário dos operadores como representativo do custo de supervisão e gerência.

3.2.1.2 Custos de Manutenção

Assim como o próprio nome sugere, estes custos estão relacionados as atividades necessárias para se prolongar ao máximo possível a integridade de uma planta industrial e seus equipamentos, independente da sua escala de produção.

Estes contemplam tanto o gasto proveniente da necessidade de se adquirir peças ou equipamentos para reposição, quanto o da mão-de-obra especializada para realizar as atividades de manutenção efetivamente.

As atividades de manutenção podem envolver serviços planejados específicos que ocorrem durante paradas programadas da planta industrial, conhecidas como manutenção preventiva, ou reparos emergenciais decorrentes de uma falha de operação ou eventuais defeitos nos equipamentos, também conhecidos como manutenção corretiva.

Segundo CHAUVEL, FOURNIER e RAIMBAULT (2003), estes custos são comparáveis com os valores investidos na construção da unidade, sendo conseqüentemente vistos como uma renovação do investimento nas unidades de produção e nas unidades que apoiam suas operações.

Nesse contexto, Towler e Sinnott (2013) recomendam que as estimativas para custos de manutenção sejam calculadas como uma fração do ISBL, representando 5% do mesmo em indústrias cujas atividades envolvam o manuseio de sólidos ou a utilização de grandes equipamentos mecânicos.

3.2.1.3 Custos com Seguro

O seguro na maior parte das vezes é realizado com uma empresa especializada chamada de seguradora. Este é necessário para qualquer planta industrial de forma a cobrir eventuais danos causados por acidentes, pelo clima ou algum outro fator em equipamentos, podendo gerar algum tipo de dano no mesmo ou até perdas de produtos como matérias-primas e produtos acabados.

O valor gasto com o seguro de uma planta industrial é difícil de estimar, pois depende de diversos fatores como por exemplo a natureza da operação, a escala de produção e os tipos de produtos envolvidos. Porém, como estimativa inicial, Towler e Sinnott (2013) recomendam utilizar o valor de 1% do somatório do ISBL e do OSBL.

3.2.1.4 Despesas Operacionais

As despesas operacionais de uma planta industrial são os custos associados aos componentes não-produtivos da indústria e outras atividades auxiliares, englobando principalmente gastos com pesquisa e desenvolvimento, custos de comercialização e despesas administrativas.

Os gastos com pesquisa e desenvolvimento envolvem tudo que está relacionado ao desenvolvimento de novas tecnologias, processos e produtos dentro da indústria. A parcela ocupada por estes custos dentro das despesas operacionais varia muito de acordo com o tipo de indústria, podendo ser de menos de 1% da receita para empresas operacionais nos setores de combustíveis e petroquímicos a granel (consideração utilizada neste trabalho) a até 15% das receitas de algumas empresas farmacêuticas e de biotecnologia (TOWLER; SINNOTT, 2013).

Os custos de comercialização consistem nos valores gastos com o processo de vendas, envolvendo propaganda, estudos e pesquisas de mercado em geral, pagamentos ao setor de vendas e outras atividades do gênero. Segundo Towler e Sinnott (2013), em indústrias produtoras de commodities estes gastos são desprezíveis.

Por fim, as despesas administrativas envolvem os gastos relacionados com os setores administrativos da empresa e compõem a maior parte das despesas operacionais. Como exemplo de setores que estão incluídos nessa categoria, tem-se os setores de recursos humanos, compras, qualidade, meio-ambiente, segurança, dentre outros. Em indústrias de menor porte, alguns destes setores podem ser substituídos pela atuação de consultores, porém, espera-se que a proporção de gastos se mantenha independente da terceirização. Baseado nos valores apresentados por CHAUVEL, FOURNIER e RAIMBAULT (2003), o valor utilizado para a estimativa das despesas administrativas foi de 50% dos custos de mão de obra total.

3.2.2 Custos Variáveis de Produção

Os custos variáveis de produção consistem em despesas diretamente ligadas a produção, variando proporcionalmente a escala de operação da planta e a quantidade produzida. Nestes estão inclusos todos os insumos consumidos durante a produção, como por exemplo os custos de aquisição de matéria-prima, os custos de utilidades e os custos com consumíveis.

3.2.2.1 Custos de Matéria-Prima

Na indústria os custos de matéria-prima costumam ser responsáveis pela maior parcela dos custos variáveis de produção. A determinação dos mesmos costuma ser simples, sendo calculada multiplicando-se o preço unitário de aquisição da matéria-prima pela quantidade total necessária no processo, esta última proveniente do balanço material realizado. Contudo, apesar de a primeira vista ser um procedimento simples, a dificuldade se encontra na determinação de um preço unitário confiável para obtenção desta matéria-prima.

O preço da aquisição de matéria-prima pode ser dividido em duas parcelas, uma representativa do custo para se obtê-la, e outra representativa do custo para se transportá-la. Como o processo tem como objetivo propor uma solução de destinação para o resíduo gerado pelas processadoras de laranja, eliminando assim um possível passivo das mesmas, é razoável considerar como hipótese que a matéria-prima poderá ser obtida a custo zero. Uma outra abordagem mais conservadora seria descontar o custo da oportunidade, ou seja, considerar o retorno proveniente de alternativas possíveis de aplicação do resíduo cítrico diferente da utilização proposta neste trabalho, contudo esta não será abordada.

Logo, o custo de matéria-prima será composto apenas pelas despesas relacionadas a logística de transporte da mesma. Esta parcela também pode ser dividida, sendo igual a soma do custo fixo, este representado pelas despesas ao se carregar e descarregar as carretas, com o custo variável, representado pelas despesas com combustível e depreciação da carreta que tem uma relação linear com a distância a ser percorrida durante o transporte (MARRISON; LARSON, 1995).

3.2.2.2 Custos de Utilidades e Consumíveis

Em uma planta industrial as utilidades se referem a serviços auxiliares necessários em qualquer tipo de processo produtivo. Dentre eles, pode-se listar o consumo de energia elétrica, fluidos para aquecimento ou resfriamento de correntes de processo, água de processo, ar comprimido, dentre outros. As utilidades podem ser produzidas no próprio site da planta, sendo assim seu custo definido pelas despesas para se gerar e transmitir essa corrente de utilidade. Alternativamente, podem ser adquiridas com terceiros, sendo neste caso seu valor definido por contrato entre as partes.

O custo de utilidades pode variar de acordo com a quantidade consumida, o local e a existência ou não de incentivos. Nesse contexto, a estimativa desse custo em específico acaba se tornando mais complexa do que o custo de matéria-prima pois não pode ser realizada sem antes se definir o balanço material e energético da unidade em questão. Contudo, segundo Towler e Sinnott (2013), custos com utilidades dificilmente superam 15% do custo total de produção, sendo 7% um valor razoável para uma estimativa inicial.

Já os custos com consumíveis, em plantas genéricas, englobam principalmente os gastos com produtos químicos, solventes, catalisadores, dentre outros. No caso do processo proposto, estas despesas se concentrarão no ácido sulfúrico utilizado na etapa de hidrólise ácida e nas leveduras utilizadas durante a etapa de fermentação. Towler e Sinnott (2013) sugerem uma estimativa inicial de 3% do custo total de produção para os custos de consumíveis.

Como ambos os custos estão em função do custo total de produção que ainda não foi determinado, é necessário defini-lo antecipadamente para então determinar estas duas parcelas. Isso pode ser feito da seguinte forma:

$$CTP = CVP + CFP \quad (2)$$

$$CVP = CMP + CUT + CCO \quad (3)$$

$$CUT = 0,07.CTP \quad (4)$$

$$CCO = 0,03.CTP \quad (5)$$

Onde:

CTP - Custos Totais de Produção;

CVP - Custos Variáveis de Produção;

CFP - Custos Fixos de Produção;

CMP - Custos com Matéria-Prima

CUT - Custos de Utilidades

CCO - Custos de Consumíveis

Substituindo-se (3) e (4) em (2), tem-se:

$$0,9.CTP = CMP + CFP \quad (6)$$

A partir daí, pode-se encontrar o valor dos custos totais de produção e logo em seguida definir-se os custos de utilidades e consumíveis a partir das equações (3) e (4). Pode-se observar que pela relação desenvolvida (5), os custos de matéria-prima equivalem a 90% dos custos totais de produção. Esse valor se mostra coerente com os dados apresentados nos livros-texto usados como referência que apontam que este valor costuma variar entre 80% a 90%.

3.2.3 Imposto de Renda

O Imposto de Renda Pessoa Jurídica é destinado a empresas brasileiras, cuja alíquota pode chegar a 34% incidente sobre o lucro real, dependendo da atividade desenvolvida e do porte do negócio. Esta alíquota compreende 15% do imposto de renda sobre o lucro apurado, 10% do imposto sobre a parcela do lucro que exceder

R\$ 240.000 ao ano e 9% da contribuição social (CSLL) incidente sobre o lucro líquido ajustado, de acordo com dados obtidos de taxas de imposto corporativo disponibilizados pela empresa de consultoria Deloitte para o ano de 2020. Para o presente trabalho será considerada uma alíquota de 34% incidente sobre os lucros apurados após a depreciação (EBIT) no DRE, visto o porte da planta proposta.

Os encargos de depreciação são o tipo mais comum de dedução fiscal usada pelos governos como incentivo ao investimento. A depreciação é um encargo não monetário relatado como uma despesa, o que reduz a receita para efeitos fiscais, mas não representam uma saída de caixa. É caracterizada como a desvalorização de ativos ao longo dos anos e representam uma espécie de reserva para reposição ou substituição dos equipamentos. Para os fins deste trabalho utilizou-se a metodologia de depreciação linear, visto que o valor residual para fábricas de produtos químicos é comumente considerado zero, já que a operação se dá além do final da vida útil depreciável, para este caso, 13 anos. Este valor foi definido baseado no horizonte de planejamento e cronograma de partida que serão descritos no item 2.4. O cálculo da metodologia de depreciação linear pode ser observado abaixo:

$$D = I/n \quad (7)$$

Onde:

I - Investimento inicial fixo

n - Período de depreciação a partir do início da operação

3.3 ELABORAÇÃO DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS

Como o projeto visa a construção de uma biorrefinaria, se faz necessário a projeção para a construção, inicialização da produção e o horizonte de operação da mesma. Um cronograma de inicialização típico para uma planta foi descrito por Towler e Sinnott (2013) e apresentam as seguintes considerações: primeiro ano, engenharia, detalhamento do projeto, itens que possuem projetos e fabricação mais longos, estes representam 30% do investimento fixo inicial. Segundo ano, aquisição e construção, correspondem a 60% do investimento fixo inicial e o terceiro ano equivalente aos 10% restante, para a finalização da construção. Seguindo o mesmo cronograma, a produção inicia-se no terceiro ano de construção e com capacidade correspondente a

30 %, o quarto ano corresponde a etapa de adaptação da operação e tem sua capacidade estabelecida em 70%. A partir do quinto ano considerou-se sua produção operando na capacidade total.

O horizonte de planejamento comumente aplicado para projetos deste porte no setor da indústria química é de 15 anos, sendo este o adotado para a realização do projeto proposto. Ao se considerar 2 anos para a construção da unidade e início da operação a partir do terceiro ano, chega-se ao valor de 13 anos considerado para o tempo de depreciação da planta.

Após as premissas adotadas anteriormente e os custos previamente descritos neste capítulo, pode-se construir os DRE (Demonstrativos de Resultado de Exercício) e estimar os fluxos de caixa que servirão de base para aplicação nos métodos de viabilidade econômica preliminar do projeto.

3.4 ESTIMATIVA DE RECEITAS

As receitas irão consistir no valor arrecadado a partir da venda dos produtos e subprodutos gerados no processo escolhido após a partida da unidade. Dessa forma, a estimativa das receitas geradas pode ser estimada multiplicando-se o preço unitário de venda destes produtos pela quantidade total produzida, sendo o maior desafio dessa etapa estimar os valores unitários de cada um de acordo com as condições de mercado.

3.5 INDICADORES ECONÔMICOS DE VIABILIDADE E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Esta seção apresenta alguns indicadores econômicos que podem ser estimados quando o investimento do projeto e os fluxos de caixa são conhecidos. Esses métodos são amplamente usados para a avaliação preliminar da atratividade do projeto e, em algumas empresas, para a triagem preliminar de projetos, porém não são adequados para o seu detalhamento, visto a quantidade de hipóteses adotadas e as algumas suposições simplificadoras (TOWLER; SINNOTT, 2013).

O *payback* é um dos indicadores mais simples e tem como objetivo estimar o tempo de retorno do investimento realizado. Para o presente trabalho optou-se pela

metodologia de *payback* descontado. A ideia deste método é incluir o custo de oportunidade do capital da empresa; o valor da melhor alternativa abandonada em favor da alternativa escolhida, sendo este último medido pela taxa mínima requerida de juros ou custo de capital (REZENDE, 2000). O seu modelo matemático pode ser observado abaixo:

$$\sum_{t=0}^{PBD} \frac{FC_t}{(1+k)^t} = 0 \quad (8)$$

Onde:

FC_t - Fluxo de caixa para o período de planejamento

k – Taxa mínima de juros

t – Período de retorno ou *payback*

O VPL, ou Valor Presente Líquido representa o somatório dos fluxos de caixa ao longo do horizonte de planejamento por uma dada taxa de desconto, sendo esta para fins deste trabalho a TMA (taxa mínima de atratividade) , e tem como objetivo trazer os fluxos de cada ano do projeto para valor financeiro presente, permitindo determinar o valor do dinheiro no tempo e também a variação anual nas despesas e receitas. O valor presente líquido é sempre menor do que o valor total do projeto no futuro devido ao desconto dos fluxos de caixa futuros (TOWLER; SINNOTT, 2013). O VPL pode ser calculado pela seguinte equação:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (9)$$

Onde:

i - Taxa de desconto (TMA)

j - Horizonte de planejamento ($j = 0$ até $j=n$, sendo $n =$ período de existência do projeto)

FC_j - Fluxo de caixa para o período de planejamento

A taxa mínima de atratividade (TMA) pode ser definida como a maior taxa de juros que deixa de ser obtida, caso o investimento fosse realizado na melhor alternativa ao investimento proposto, tratando-se de investimento de capital

próprio, refletindo assim o custo de oportunidade do projeto. Em outras palavras, consiste na taxa mínima que um investidor está disposto a receber a partir de uma aplicação financeira. Em alguns casos é válido considerar a taxa básica de juros do país como TMA, mas essa determinação depende também de outros fatores como a liquidez e o risco do projeto.

Após o cálculo do VPL a várias taxas de juros diferentes, TMA, é possível encontrar uma taxa de juros que anula o valor presente líquido acumulado no final do projeto. Esta taxa é chamada de TIR, ou taxa interna de retorno, e representa a medida da taxa de juros máxima que o projeto poderia pagar e ainda ter equilíbrio ao final de sua vida útil (TOWLER; SINNOTT, 2013).

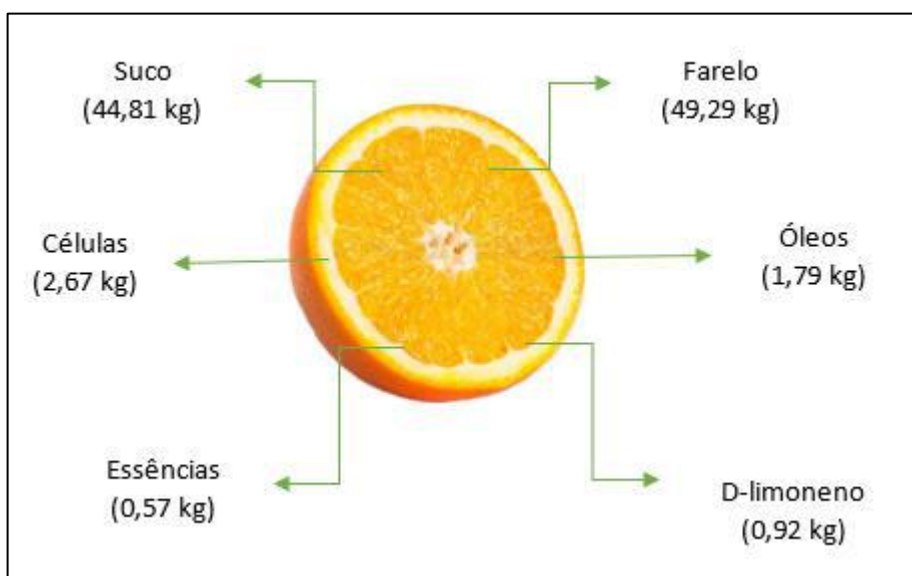
Todos esses indicadores serão discutidos no capítulo 9 como argumentos da viabilidade do projeto proposto.

A princípio, o investimento, os custos, os demonstrativos e os indicadores são calculados em um cenário base a partir de hipóteses e estimativas para os valores mais prováveis de diversos parâmetros. Após completada esta etapa, é realizada a análise de sensibilidade, que consiste na variação de um parâmetro escolhido mantendo fixos os restantes para avaliar o quanto a variação deste parâmetro, e, conseqüentemente, possíveis erros nas premissas adotadas, impactam nos fluxos de caixa e no resultado final da análise de viabilidade econômico.

4. PRODUTOS POTENCIAIS, ROTAS E PROCESSO DE PRODUÇÃO

Além do suco, há vários subprodutos obtidos da laranja, tais como óleo essencial, D-limoneno, farelo de polpa cítrica (composto por cascas, sementes e polpa) e essência. A figura 2 ilustra o rendimento teórico de produtos e subprodutos obtidos a partir de 100 kg de laranjas.

Figura 2 — Rendimento teórico de produtos e subprodutos da laranja a partir de 100 kg.



Fonte: CETESB (2005)

Durante a produção de suco a partir da laranja obtida pela colheita, estima-se que aproximadamente 50% da massa seja efetivamente transformada em suco, sendo os 50% restantes caracterizados como resíduos deste processo conforme diagrama de blocos do processamento mostrado a seguir (REZZADORI; BENEDETTI; AMANTE, 2012).

4.1 ETAPAS DO PROCESSAMENTO DO SUCO DE LARANJA

Como mostrado na figura 3 as principais etapas do processamento do suco de laranja consistem na recepção e armazenamento temporário dos frutos, seleção e classificação, lavagem, extração do suco, tratamento térmico, envase, armazenamento do produto acabado e finalmente a distribuição.

Depois de chegar à planta de processamento, as frutas são lavadas em lavadoras com escovas (figura 4) e separadas por tamanho sendo então encaminhadas às linhas de extração (figura 5). Os frutos que não se encaixam no padrão de qualidade, apresentam defeitos ou injúrias indesejáveis para o processamento, são destinadas em sua maioria à compostagem ou para fabricação de ração animal. Esta etapa é essencial para processos posteriores de extração de suco, pois diferentes tamanhos implicam em diferentes condições operacionais (CHEN et al., 2019).

Figura 3 — Etapa de lavagem dos frutos



Fonte: ACidadeON/Araraquara (2019)

Figura 4 — Separação dos frutos após seleção para abastecimento dos extratores



Fonte: Berk (2016)

O terceiro e principal passo consiste na extração do suco por equipamentos chamados de extratores. Algumas máquinas cortam a fruta pela metade antes do processo de extração do suco, enquanto outras aceitam a fruta inteira, nelas ocorrem a separação do suco de laranja, da emulsão que dará origem ao óleo essencial, do bagaço e da polpa. Estas máquinas são comumente dispostas em plataformas elevadas permitindo que o suco saia na parte inferior por meio de tubulações que se destinam aos tanques de armazenagem (CETESB..., 2005).

Os extratores de suco dos tipos **FMC (Food Machinery Company)** ou tipo *Brown* (figura 6) são as tecnologias mais utilizadas, pois produzem sucos cítricos de alta qualidade (D.A. ZEMA et al., 2018).

Figura 5 — Série de extratores tipo Brown



Fonte: Berk (2016)

O suco é então levado para a etapa de ajuste do teor de polpa, que em equipamentos tipo *fishiners* ou turbofiltros são ajustados até um teor próximo a 4%, ou conforme a solicitação do cliente e depois são encaminhados para centrífugas para ajuste de cor (CETESB, 2005).

Após a extração do suco, este é submetido a tratamentos térmicos (pasteurização e evaporação). O suco cru é resfriado a uma temperatura baixa para reduzir as atividades microbianas e é peneirado para separar a polpa e outros sólidos residuais. A pasteurização geralmente consiste em uma sequência de trocadores de calor de placas ou cascas e tubos (80–95 ° C) e refrigeradores, os quais funcionam com a circulação da água. (D.A. ZEMA et al., 2018, p. 255). Esta etapa também é importante para a inativação da pectinesterase, enzima responsável pela formação de ácidos pectínicos que arrastam o material colorido que confere a turbidez ao suco.

Em seguida dá-se a etapa de evaporação para concentração de sólidos solúveis totais, que passam de 10 - 11°Brix¹ ao teor final de 65°Brix, neste processo o suco perde sua fração volátil na qual encontram-se as essências. Por ser um produto de alto valor comercial, todos os evaporadores têm sistemas recuperadores de essências. Elas podem ser reincorporadas ao suco ou serem armazenadas separadamente como produto a ser vendido, a incorporação ocorre na etapa de mistura que também serve para uniformizar sucos com teores de sólidos solúveis variáveis a fim de atender às especificações dos clientes (CETESB..., 2005). A evaporação reduz os volumes de armazenamento e os custos de transporte, prolonga o prazo de validade microbiológico do suco, mas reduz simultaneamente o prazo de validade oxidativo (D.A. ZEMA et al., 2018).

A última etapa consiste no armazenamento a frio, onde o suco já concentrado chega aos resfriadores do tipo flash penetrando neles por meio de bicos injetores, numa atmosfera de baixa pressão absoluta. O líquido evapora instantaneamente diminuindo a temperatura para 18 °C. Em seguida, trocadores de calor que utilizam glicol ou solução alcoólica como líquido de resfriamento abaixam a temperatura do suco a -7 °C. O resfriamento da solução alcoólica é feito por amônia. O suco resfriado é encaminhado aos tanques de armazenamento onde permanecem até o seu transporte por caminhões-tanque para o porto (CETESB, 2005).

A polpa obtida na etapa da extração é misturada com água a fim de se obter um resíduo pouco concentrado que pode ser utilizado na etapa de mistura para ajustar as concentrações solicitadas pelos clientes. Já a emulsão água-óleo também derivada

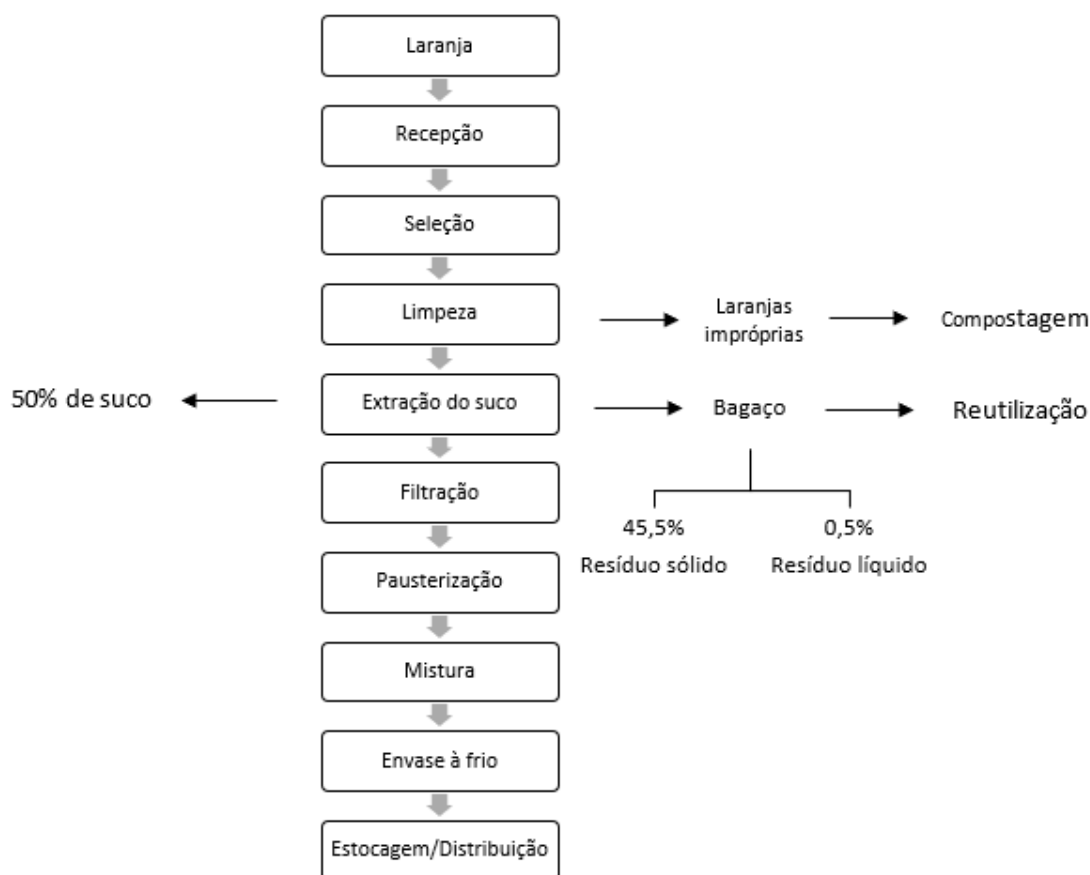
¹°Brix: Escala utilizada para mensurar a quantidade de Sólidos Solúveis Totais através de método refratométrico, amplamente aceita pela comunidade acadêmica.

da etapa de extração sofre processos de extração, filtração, clarificação, entre outros para obtenção de óleos essenciais.

No resíduo sólido decorrente das etapas de processamento é incorporado à cal para retirar a água presente no resíduo e ajustar o pH. Essa mistura é prensada e o líquido extraído é denominado “licor de prensagem” ou “licor prensado”, a etapa seguinte consiste na separação dos sólidos através de peneiras estáticas e vibratórias, que são adicionados à massa moída e passa posteriormente por um evaporador de múltiplos efeitos(W.H.E), onde é concentrado e dá origem ao melaço cítrico (CETESB, 2005).

A massa resultante do processo descrito anteriormente é destinada para secadores rotativos para a remoção da maior parte da umidade. O produto dos secadores é uma palha com 7 a 8 % de umidade. Esta é processada nas pelletizadoras para se obter pellets que são enviados aos resfriadores (conjuntos de esteiras dotados de ventiladores para resfriar os pellets) antes de serem armazenados em silos metálicos (CETESB, 2005).

Figura 6 — Diagrama de blocos do processamento do suco de laranja



Fonte: Rezzadori, Benedetti e Amante (2012)

Estes resíduos, englobam tanto resíduos sólidos ou semissólidos como cascas, polpa, sementes e frutas inteiras que não atingiram os requisitos de qualidade mínimos durante o processo de seleção, como efluentes líquidos, sendo o principal a água residual pós-lavagem das laranja (SHARMA et al., 2017) Para se definir maneiras de reaproveitamento destes resíduos, se torna importante a caracterização dos mesmos, além da completa compreensão acerca da sua composição de forma a definir a melhor rota tecnológica a ser aplicada.

O resíduo proveniente da extração de suco de laranja, é composto em massa por cerca de 16,9% de açúcares solúveis, 9,21% de celulose, 10,5% de hemicelulose e 42,5% de pectina (REZZADORI; BENEDETTI; AMANTE, 2012). Além disso, também pode conter em diferentes proporções outros açúcares, fibras, ácidos orgânicos, aminoácidos, proteínas, minerais, óleos, lipídeos, flavonoides e vitaminas (SHARMA et al., 2017), o que indica o grande potencial de aproveitamento

desse resíduo. Entretanto atualmente, a maioria destes resíduos não é aproveitada de acordo com o seu potencial.

Os efluentes líquidos gerados em indústrias cítricas possuem alta concentração de matéria-orgânica e conseqüentemente alto potencial poluidor. A presença do d-limoneno nos efluentes inibe o crescimento bacteriano devido ao seu poder bacteriostático, prejudicando a etapa de tratamento, por isto e pelo seu elevado valor agregado, as indústrias comumente retiram este produto na etapa de concentração do suco, através de evaporadores. Os sistemas de tratamento mais comuns para os efluentes líquidos são os biológicos - em geral lodos ativados e lagoas (CETESB., 2005).

A parte sólida (polpa, sementes, bagaço e cascas) é majoritariamente transformada em farelo peletizado e utilizado para a alimentação de animais na agropecuária ou como condicionador de solos (D.A. ZEMA et al., 2018), compostos que oferecem ao solo matéria orgânica de qualidade, bio estabilizada e humificada, contribuindo na retenção de água, na atividade biológica, além de aumentar a eficiência no aproveitamento de nutrientes pelas plantas. Já o lodo gerado nas estações de tratamento de efluentes é um grande problema para as empresas do setor e os órgãos ambientais.

A transformação desses resíduos em produtos com valor agregado (por uso direto ou posteriormente a algum tipo de processamento), poderia potencialmente permitir que as empresas reduzam os impactos ao meio ambiente, com conseqüente redução dos custos de tratamento desses resíduos, gerem lucros adicionais e melhorem sua competitividade no mercado (PFALTZGRAFF, 2014), visando à sustentabilidade econômica e ambiental da cadeia de gerenciamento de resíduos cítricos.

4.2 PROPOSTAS PARA O REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS

De acordo com Rezzadori, Benedetti e Amante (2012), atualmente existem diversas propostas promissoras de tecnologias visando o reaproveitamento de resíduos oriundos do processamento de laranja. Neste capítulo serão apresentadas as seguintes rotas tecnológicas: a produção de bio-óleo e bio-carvão a partir do tratamento térmico por pirólise, a produção integrada de bio-etanol, biogás e limoneno, a produção de pectina, a extração de óleos essenciais e a utilização do resíduo sólido como adsorvente de compostos químicos e metais tóxicos.

4.2.1 Produção de bio-óleo e bio-carvão

O bio-óleo consiste na fração líquida que pode ser obtida a partir do tratamento térmico de diversos tipos de biomassa, possuindo diversas aplicações. Dentre elas se destaca a sua utilização como óleo combustível para a produção de energia ou vapor, podendo ser utilizados em caldeiras, fornalhas, combustores, motores a diesel e turbinas de gás. Outras aplicações englobam também a sua utilização como matéria-prima em outras indústrias, como a farmacêutica, a alimentícia e a de fertilizantes (KAN; STREZOV; EVANS, 2016). Além disso, o bio-óleo pode ser tratado com o objetivo de melhorar sua qualidade utilizando tecnologias de craqueamento catalítico (MORTENSEN et al., 2011) ou de hidrocessamento em alta pressão (ZACHER et al., 2019), tornando a sua utilização cada vez mais viável.

Já o bio-carvão, é o resíduo sólido restante da biomassa após a realização do tratamento térmico. Devido a estrutura que se forma na sua superfície durante o processo de queima, o bio-carvão, após ser ativado quimicamente ou fisicamente, pode ser utilizado como agente de adsorção ou filtração de poluentes orgânicos e inorgânicos (KAN; STREZOV; EVANS, 2016). Além disso, também pode ser utilizado como fertilizante devido a sua grande capacidade de capturar compostos com carbono, possibilitando a melhoria na qualidade dos solos (MOHAN et al., 2014).

Estes produtos podem ser obtidos por meio da conversão térmica de biomassa por pirólise. Dentro de um reator, a biomassa é aquecida na ausência de oxigênio a temperaturas em torno de 500° C, onde então se decompõe gerando três produtos: Compostos voláteis não-condensáveis (bio-gás), compostos voláteis condensáveis

(bio-óleo) e um resíduo sólido rico em carbono (bio-carvão). (STREZOV; EVANS; HAYMAN, 2008). De acordo com Rutkowski (2011), a biomassa escolhida como fonte de energia deve ser composta basicamente por uma mistura de celulose, hemicelulose e lignina, sendo que a eficiência do processo de pirólise está intimamente relacionada com a parcela representada por cada um. Nesse contexto, como o resíduo do processamento de laranja tem um alto teor dessas substâncias, o mesmo aparece como uma opção de biomassa a ser utilizada para a produção de bio-óleo e bio-carvão.

Para um processo de pirólise rápida, pode-se esperar a conversão de cerca de 60% - 70% do peso da biomassa seca em bio-óleo, 10% - 15% em bio-carvão e o restante em bio-gás. (KAN; STREZOV; EVANS, 2016). Sendo assim, em um processamento de uma tonelada de biomassa por esse método, seria possível produzir até 700 kg de bio-óleo e 150 kg de bio-carvão.

4.2.2 Produção integrada de Bio-etanol, Biogás e Limoneno

O etanol é um combustível amplamente difundido no Brasil e com perspectiva de crescimento no mercado para os próximos anos, devido ao forte apelo relacionado as questões ambientais (JUNIOR et al., 2019). Quando oriundo de uma fonte de celulose como a biomassa, é denominado bio-etanol. Este produto é majoritariamente utilizado em motores a combustão, na sua forma hidratada, ou misturado com a gasolina, na sua forma anidro. O grande diferencial deste combustível vem do fato de ser proveniente de fontes renováveis e de baixo custo, possuir boas características físico-químicas como o alto calor latente de vaporização (904 KJ/kg contra 350 KJ/kg da gasolina) e a capacidade de reduzir as emissões de NOx gerado na combustão. (XU et al., 2020) Estas características colocam o bio-etanol como um forte concorrente frente aos combustíveis fósseis tradicionais provenientes de fontes não-renováveis.

O biogás consiste numa valiosa fonte de energia renovável, que é constituída por uma mistura de metano e gás carbônico gerada durante a decomposição anaeróbica de matéria-orgânica (MANESH; REZAZADEH; KABIRI, 2020). A utilização deste produto possibilita a substituição de combustíveis fósseis e é capaz de prover uma queima mais limpa durante a geração de energia, reduzindo assim o impacto ocasionado pela emissão de gases do efeito estufa. (YANG; ZHANG; LI,

2012). Além de poder ser gerado de forma contínua, o biogás pode ser estocado a baixos custos, seja na forma de matéria-prima, seja como gás comprimido. (MILANEZ et al., 2018).

O principal método de produção do biogás é a quebra biológica de material orgânico na ausência de oxigênio, conhecida como digestão anaeróbica, que ocorrem em reatores controlados, produzindo biogás com 50% a 70% de metano. A rota termoquímica é uma alternativa promissora na qual a gaseificação ocorre a altas temperaturas, com calor e oxigênio sendo adicionados, mas encontra-se em fase iniciais de pesquisa e desenvolvimento (MILANEZ et al., 2018).

A participação do biogás na matriz energética brasileira vem aumentando consideravelmente ao longo dos anos, em 2010 a produção efetiva de biogás representava 0,01%, (15 mil tep de um total de 269 milhões tep), alcançando uma representatividade de 0,05%, em 2016 (137 mil tep² de um total de 288 milhões tep) e se encontra em constante desenvolvimento. Espera-se que essa energia venha a se expandir nos próximos anos, e se torne uma das principais formas de produção de energia renovável (MILANEZ et al., 2018).

O limoneno é um importante constituinte de frutas cítricas e possui uma série de aplicações. Dentre elas, destacam-se principalmente a sua utilização como ingrediente ativo de óleos essenciais e como agente aromático na indústria de cosméticos, detergentes e alimentos (FENG et al., 2020). Além disso, o limoneno possui propriedades pesticidas e antibacterianas, o que exige a sua separação em processos de bioconversão onde a sua atividade inibe o crescimento de micro-organismos digestores (OZTURK; WINTERBURN; GONZALEZ-MIQUEL, 2019).

Em um estudo realizado por Pourbafrani et al. (2010) foi proposto um processo de produção integrada de bio-etanol bio-gás e limoneno. O processo consiste, no início, de uma etapa de hidrólise ácida da biomassa junto com a remoção do limoneno. Em seguida separa-se a parte sólida, que será enviada para um digestor anaeróbico com o objetivo de se produzir bio-gás, da parte líquida, que será destinada a um fermentador e em seguida a um processo de destilação para produzir bio-etanol. Segundo os autores deste estudo este processo tem potencial de produzir cerca de 39,64 L de bio-etanol, 45 m³ de biogás e 8,9 L de limoneno por tonelada de resíduo

² Tep: Toneladas equivalentes de petróleo.

processada. Esta proposta se baseia na simplicidade do processo e no baixo custo de obtenção da biomassa proveniente do processamento da laranja em comparação com outros processos de obtenção de etanol que envolvem o uso de lignocelulose.

4.2.3 Produção de pectina

As pectinas são polissacarídeos que ocorrem nas paredes celulares de tecido vegetal. O ácido D-galacturônico (D-GalA), um isômero do ácido D-glicurônico (D-GlcA), foi considerado um constituinte básico de todas as pectinas (MARIĆA et al., 2018).

O isolamento desta substância é tecnologicamente importante devido à sua aplicação nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, como agente gelificante, estabilizante, espessante, efeitos pré-bióticos, entre outros (PATSA LOU et al.; CANTERI, 2012). O relativo alto teor e o baixo conteúdo calórico da pectina em frutas cítricas as tornam uma boa fonte de fibra alimentar solúvel.

O mercado global de pectina foi avaliado em US \$ 964,1 milhões em 2015 e prevê-se que o tamanho do mercado global de pectina atinja US \$ 1,9 bilhão até 2025 decorrente da crescente demanda pelo consumo de produtos naturais e orgânicos (Pectin Market Size, 2017).

A pectina pode ser obtida a partir dos resíduos da casca gerados no processamento do suco de laranja por extração com ácido, podendo gerar resíduos tóxicos. Como alternativa a este problema também existe a proposta da utilização de água quente como agente extrator, dando a possibilidade de utilizar o resíduo gerado posteriormente. A produção de pectina a partir de resíduos de laranjas processadas em suco tem um rendimento de aproximadamente $25 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (em base seca) (REZZADORI; BENEDETTI; AMANTE, 2012).

Estudos mais recentes de extração, como ultrassom, microondas e enzimas, se mostraram como técnicas promissoras no aumento do rendimento e na qualidade da pectina, além de reduzir o tempo de extração, a temperatura, o uso de solventes tóxicos e as fortes condições ácidas para a recuperação da pectina (MARIĆA et al., 2018).

4.2.4 Extração de óleos essenciais

Óleos essenciais são extraídos de plantas através da técnica de arraste a vapor, na grande maioria das vezes, e também pela prensagem do pericarpo de frutos cítricos. São compostos formados por misturas complexas de principalmente mono e sesquiterpenos e de fenilpropanóides, metabólitos que conferem suas características organolépticas (R. BIZZO; C. HOVELL; M. REZENDE, 2009).

Os óleos essenciais extraídos de frutas cítricas têm uma ampla variedade de aplicações sendo a principal delas a sua utilização como aromatizante nas indústrias alimentícia e farmacêutica. Durante o processo de extração são gerados resíduos sólidos que podem ser utilizados para a produção de fibras e resíduos líquidos que podem ser utilizados em conjunto com as fibras produzidas como substrato em processos de fermentação (REZZADORI; BENEDETTI; AMANTE, 2012).

Para extração dos óleos essenciais é comum a utilização de técnicas como a prensagem a frio, a maceração, o ultrassom e a extração em Soxhlet, a destilação direta e a destilação por arraste a vapor de água, que utilizam como principais solventes o hexano, o benzeno, os alcoóis metílico, etílico e propílico, a acetona, o pentano e diversos solventes clorados. As maiores desvantagens da utilização dessas técnicas são a longa duração de operação, o manuseio de grandes volumes de solventes perigosos e subsequente etapa de concentração do extrato, o que pode resultar em degradação térmica do composto alvo.

Novas técnicas de extração de óleos essenciais como a tecnologia supercrítica (ESC) utilizando CO₂ puro evidenciada no trabalho (BENELLI, 2010), assim como o processo de sistema híbrido de evaporação (BERREDO, 2014), se mostraram promissoras no que se refere a menor tempo de operação e eficiência da extração.

4.2.5 Resíduo sólido como adsorvente

Atualmente, um dos grandes problemas ambientais enfrentados é o aumento da liberação de metais pesados no meio-ambiente oriundos da atividade industrial e do desenvolvimento tecnológico. Estes compostos representam uma ameaça ao meio-ambiente e a saúde das pessoas por conta da sua toxicidade, da ocorrência de bioacumulação e pelo fato de não serem biodegradáveis. (BAHADIR et al., 2007).

Tradicionalmente, as tecnologias mais utilizadas para a remoção de metais pesados de efluentes industriais envolvem processos de filtração, troca iônica,

coagulação, redução, separação com membranas ou adsorção. Contudo, frequentemente a aplicação destas tecnologias fica restrita por conta da dificuldade em se atingir os baixos valores de concentração exigidos por órgãos regulatórios ou então pelo elevado custo de sua aplicação. (HAMMAINI et al., 2003).

No contexto de uma demanda por tecnologias mais acessíveis, a adsorção com utilização de materiais de origem biológica, surge como uma alternativa possivelmente mais eficiente, barata e simples do que as tecnologias usualmente empregadas. (PÉREZ MARÍN et al., 2009).

Dentre estes materiais, o resíduo do processamento da laranja se mostra como um candidato de alto potencial para ser utilizado como adsorvente por conta da sua disponibilidade e do seu baixo custo. Porém, essa tecnologia exige um pré-tratamento do resíduo visando o aumento da sua eficácia. Este pré-tratamento envolve a limpeza da superfície do resíduo para a remoção de impurezas, expondo de forma mais eficiente os sítios de ligação do adsorvente, e a redução do tamanho de partículas do resíduo para conseqüente aumento da sua superfície de contato. (KELLY-VARGAS et al., 2012).

Um quadro resumo com os principais resíduos gerados e suas respectivas etapas do processo, os potenciais produtos e as tecnologias envolvidas podem ser observados a seguir:

Quadro 2 — Principais resíduos gerados e suas respectivas etapas do processo, potenciais produtos e rotas tecnológicas

Tipo de Resíduo	Etapa do processo	Produtos Potenciais	Rotas tecnológicas
Bagaço	Resíduo sólido após extração	Bio-óleo	Craqueamento catalítico, hidrocessamento em alta pressão.
Bagaço	Resíduo sólido após extração	Bio-carvão	Pirólise.
Bagaço	Resíduo sólido após extração	Bio-etanol	Hidrólise seguida de fermentação e destilação.
Bagaço	Resíduo sólido após extração	Biogás	Biodigestão anaeróbica.
Bagaço	Resíduo sólido após extração	Pectina	Extração ácida, enzimática, ultrassom, microondas.

Emulsão água- óleo	Resíduo oleoso após extração	Óleo Essencial	Prensagem a frio, maceração, ultrassom, extração em Soxhlet, destilação direta e a destilação por arraste a vapor de água, tecnologia supercrítica (ESC) utilizando CO ₂ e sistema híbrido de evaporação.
Licor de prensagem	Prensagem do resíduo sólido	Limoneno	Evaporação.

A partir das propostas para o reaproveitamento dos resíduos apresentadas no trabalho, optou-se pela produção integrada de bio-etanol, biogás e limoneno devido as suas vantagens em relação a produção de biocombustível como fonte alternativa aos combustíveis de origem fóssil, ao elevado valor agregado do coproduto, o limoneno, e a possibilidade de utilização do biogás gerado como fonte energética para o processo, com conseqüente redução dos custos relacionados ao consumo de utilidades.

4.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DO RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE SUCO DE LARANJA

O Brasil se depara com perspectivas de aumento significativo da demanda de álcool como combustível. De acordo com o estudo de (ANDRADE JUNIOR et al., 2019, p. 6) os cenários para a especulação das demandas de etanol até 2030 que possuem como principais fatores o crescimento da população e do PIB, demanda por veículos automotores leves, mistura de álcool e gasolina como combustível padrão, preços relativos ao etanol, composição da frota, melhorias no combustível e eficiência de consumo, apontam para aumentos da demanda de etanol entre 37,4 e 70,7 bilhões de litros em 2030, dependendo do cenário. Esse aumento é de 13% e 114% acima da produção de 2018. Isso representa uma expansão na área de cana entre 1,2 e 5 milhões de hectares (14% a 58% acima do uso da terra em 2018).

Para o incremento da produção de álcool, alternativas que buscam tecnologias que permitam o aproveitamento de resíduos do setor agroindustrial, são apostas promissoras neste cenário, com o objetivo de produzir etanol, ou outros combustíveis renováveis, destaca-se neste sentido o conceito de biorrefinaria exposto por (OLIVEIRA; , 2016) que são unidades de processamento de biomassa para a produção de biocombustíveis, bioprodutos e energia, de forma a assegurar o aproveitamento integral da biomassa, acarretando no acréscimo de valor à cadeia agroindustrial.

Partindo desta premissa o presente trabalho definiu como alternativa potencial uma biorrefinaria para a produção de bio-etanol e seus subprodutos, biogás e limoneno a partir do resíduo gerado na produção de suco de laranja.

A produção de etanol utilizando biomassa lignocelulósica como é o caso do bagaço da laranja, devido a presença de celulose, hemicelulose e lignina em sua composição, se dá basicamente em três processos: o pré-tratamento, a hidrólise para obtenção de açúcares fermentescíveis e a fermentação.

4.3.1 Pré-tratamento da biomassa cítrica

A composição química dos materiais lignocelulósicos é um fator crítico que impacta diretamente na produção de biocombustíveis durante o processo de conversão dos açúcares fermentescíveis (CARVALHO,2018).

A etapa de pré-tratamento consiste principalmente na separação da lignina da matriz celular, da solubilização da hemicelulose, e da separação de mais alguns componentes que resultam na diminuição da cristalinidade da celulose possibilitando a separação das regiões amorfas da cristalina. A forma amorfa da celulose por sua vez, é mais facilmente hidrolisada em comparação à fase cristalina, esta etapa é de extrema importância para a disponibilização de açúcares da celulose e hemicelulose da biomassa para as etapas seguintes (CYPRIANO, 2015).

Processos físicos, físico-químicos, químicos e biológicos têm sido usados no pré-tratamento de materiais lignocelulósicos. Os processos convencionais incluem Líquido com Água Quente (LHW) também conhecido como tratamento hidrotérmico, pré-tratamento com ácido, pré-tratamento com base, explosão a vapor, explosão de fibra de amônia (AFEX), bem como tratamentos mecânicos como moinhos de martelo e moinhos de bolas.

4.3.2 Hidrólise

Após o pré-tratamento, faz-se necessária a conversão dos polissacarídeos complexos dos materiais lignocelulósicos em açúcares simples antes da fermentação, a este processo dá-se o nome de hidrólise.

Existem vários métodos possíveis para hidrolisar lignoceluloses. Os métodos mais comumente aplicados à indústria são as hidrólises ácidas e enzimáticas.

A hidrólise ácida consiste na exposição de materiais lignocelulósicos a um ácido concentrado ou diluído, por um período específico de tempo em condições específicas, como temperaturas e pressões, que resulta na liberação de monossacarídeos de celulose e hemicelulose. A hidrólise ácida pode ser realizada com vários tipos de ácidos, incluindo sulfuroso, sulfúrico, clorídrico, fluorídrico, fosfórico, nítrico e fórmico. Plantas em escala comercial foram iniciadas com a utilização desse método como, por exemplo, o processo Bergius modificado (40% HCl

por 1 hora a 35 ° C) operado durante a Segunda Guerra Mundial na Alemanha e, mais recentemente, os processos Scholler modificados (0,4% H₂SO₄) (AWAN, 2013).

A Hidrólise enzimática vem cada vez mais ganhando espaço em estudos relacionados a hidrólise de biomassa lignocelulósica. A aplicação de enzimas à biomassa tem mostrado vantagens distintas sobre os métodos de hidrólise ácida, como por exemplo, as condições mais brandas de processo, apresenta rendimentos potencialmente mais elevados e não possuem problemas de corrosão devido a ausência de grandes volumes de químicos. Nesse processo, os polímeros de cadeia longa de celulose e hemicelulose são consumidos por enzimas e monômeros de hexoses e pentoses são liberadas. Este processo pode-se dar com a utilização de uma combinação de enzimas para otimização do rendimento (AWAN, 2013).

No entanto, o processo enzimático além de ser um processo demorado e dispendioso, pelo alto custo da enzima, tornam a hidrólise enzimática ainda incerta para uso na indústria em larga escala (PURWADI; BRANDBERG; J. TAHERZADEH, 2007). Há estudos que alegam que o custo das enzimas contribui com cerca de 48% do custo operacional total do processo (CHEN et al., 2019).

4.3.3 FERMENTAÇÃO

Após a a hidrólise da biomassa lignocelulósica, os monossacarídeos resultantes são convertidos a bioetanol através de via fermentativa.

A fermentação é realizada pelo contato de monossacarídeos, açúcares fermentescíveis, com um organismo produtor de etanol selecionado de uma levedura, bactéria ou fungo. Organismos mais comumente utilizados incluem a levedura de cerveja, *Saccharomyces cerevisiae* e a bactéria *Escherichia coli* cepa KO11. O pH e a temperatura da mistura são ajustadas para melhor se adequar ao organismo selecionado (HILLYER, 2012).

Uma outra alternativa que vem sendo estudada é a fermentação realizada simultaneamente com a sacarificação, num processo conhecido como SSF (sacarificação e fermentação simultâneas) (HILLYER, 2012).

4.4 PROPOSTA DO FLUXOGRAMA DO PROCESSO

De acordo com a análise comparativa realizada por Alisaraei et al. (2017, p. 1105) existem diferentes estudos no que se refere a etapa de hidrólise, para a produção de etanol a partir de resíduos cítricos, destacam-se a hidrólise enzimática em que a conversão em açúcares fermentescíveis foram de aproximadamente 90% para diversos resíduos de frutas utilizados como matérias-primas após 48h. Na qual a fermentação resultou em concentrações de etanol (14,4-29,5 g / L) e rendimento (90,2-93,1%). Já a hidrólise ácida utilizando-se ácido diluído a 150 ° C e 6 min de tempo de reação (condição otimizada), apresentou rendimento em açúcar fermentescíveis de 0,41g/ g total de resíduo seco que foram convertidos em etanol (rendimento de 0,43 g / g) por fermentação usando *S.cerevisiae*. Totalizando numa produção de 39,64l de etanol por tonelada de resíduo cítrico úmido (com 20% de peso seco) (POURBAFRANI et al., 2010).

A vinhaça e o material sólido resultante da hidrólise podem ser anaerobicamente digeridos para obtenção de biogás de acordo com os estudos de Pourbafrani et al (2010), uma tonelada de resíduo cítrico com 20% de peso seco resulta em aproximadamente 45 m³ de biogás.

O limoneno, composto encontrado nas cascas dos cítricos atuam como inibidores da fermentação reduzindo o rendimento de conversão dos açúcares fermentescíveis em etanol. Estima-se que, para uma fermentação eficiente, o limoneno nos resíduos da casca dos cítricos deve estar abaixo de 3.000 partes por milhão(ppm) e talvez até em níveis inferiores a 1.500 ppm (HILLYER, 2012). Por isto, o limoneno é extraído antes da fermentação.

Pelos rendimentos apresentados a cima e a complexidade envolvida em plantas que operam com a hidrólise enzimática, além do custo da enzima, optou-se neste trabalho por um fluxograma de processo baseado nas etapas de pré-tratamento ácido, hidrólise ácida e fermentação, com remoção de limoneno antes da fermentação.

A baixo estão apresentados o diagrama de blocos e o esquema proposto do processo para a demonstração das operações unitárias envolvidas.

Figura 7 — Diagrama de blocos do processo de obtenção de etanol, limoneno e biogás a partir do resíduo da indústria de suco de laranja

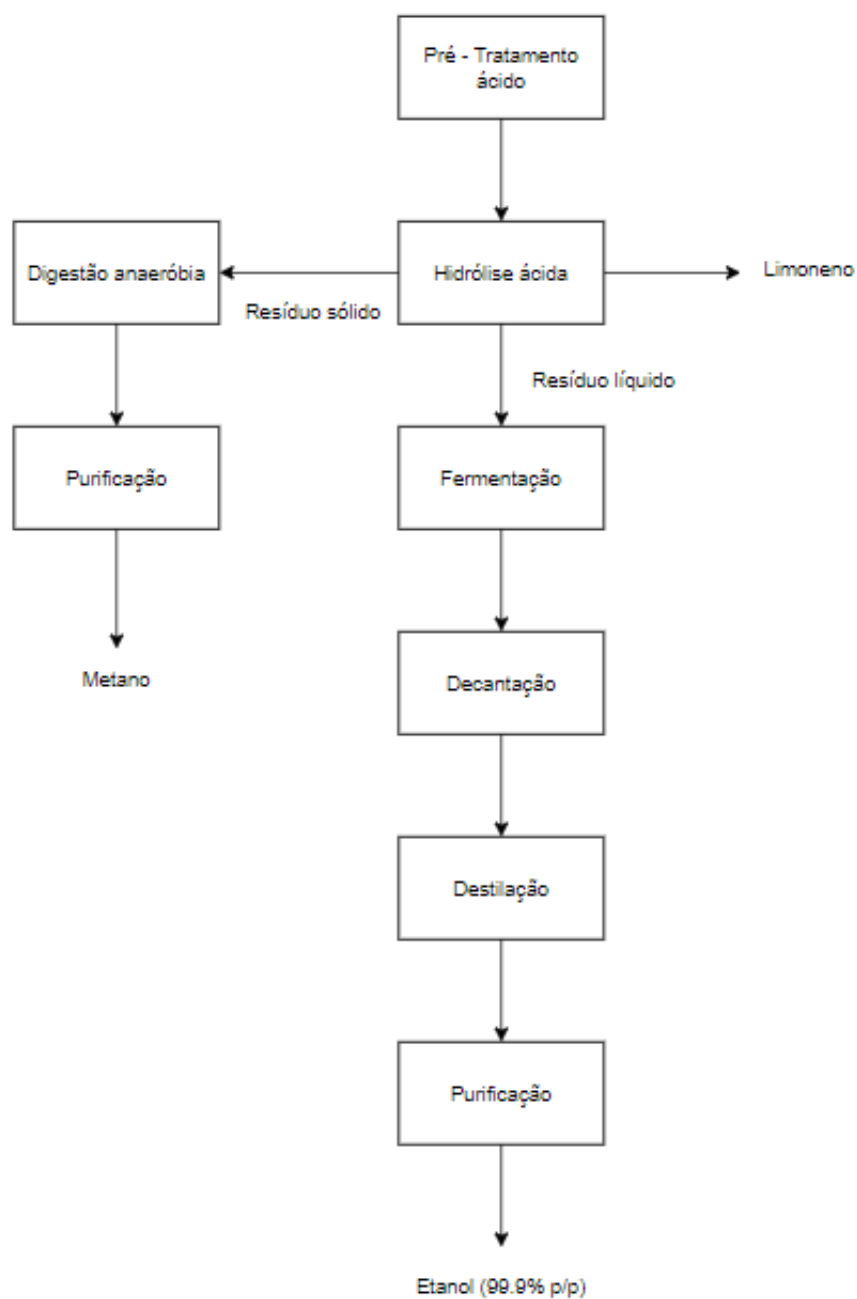
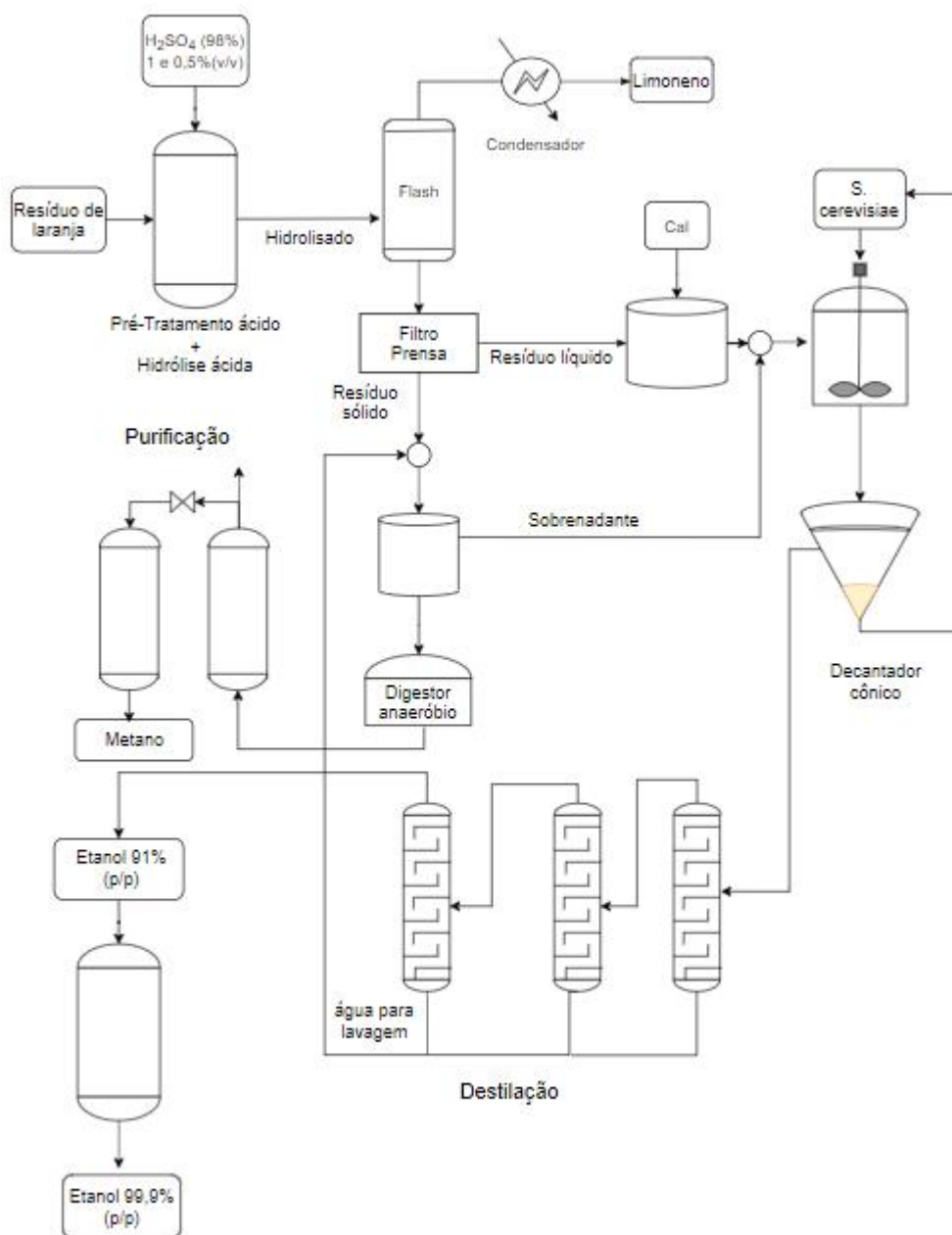


Figura 8 — Esquema do processo de obtenção de etanol e seus coprodutos a partir de resíduo da indústria de suco de laranja



O pré-tratamento ácido tem sua maior efetividade em relação a parcela de celulose da biomassa lignocelulósica. Este consiste na adição de 1% (v/v) de ácido sulfúrico a biomassa em reator por 90 minutos a temperatura de 120°C, conforme estudos para a biomassa de cana de açúcar relatado no trabalho de *Nicola, 2017*.

Os resíduos cítricos pré-tratados são então submetidos à hidrólise com 0,5% (v/v) de ácido sulfúrico (98%) a 150°C por 6 min. O hidrolisado é então descarregado em um tanque de expansão (*Flash*) a pressão atmosférica para resfriamento e

separação de sólidos e componentes não voláteis dos componentes voláteis que saem como produto da corrente de vapor (POURBAFRANI et al., 2010). A partir desta etapa todo o processo foi baseado no estudo realizado por Lohrasbi et al. (2010), no qual propõem-se um processo para obtenção de bioetanol, limoneno e biogás a partir de resíduos cítricos utilizando como base de cálculo uma biorrefinaria com operação anual de 8000h e uma capacidade de 100000 toneladas de resíduo por ano.

Os vapores que saem do vaso de expansão evaporam quase 99% do conteúdo de limoneno existente no resíduo e reduzem sua concentração no hidrolisado para 0,004% (v/v). O resíduo não volátil vai para um filtro-prensa empregado para separar os resíduos sólidos do hidrolisado. Os sólidos são então lavados com água reciclada da destilação, isso resulta em uma recuperação de aproximadamente 96% dos açúcares fermentescíveis presentes no material sólido. O sobrenadante do hidrolisado é então neutralizado com cal em um recipiente de mistura e, em seguida, é alimentado ao biorreator onde se dá a etapa de fermentação.

O biorreator é do tipo agitado mecanicamente e as condições de operação são: tempo de residência de 20 h, temperatura de 30 °C e pH 5,0. Mistura-se óleo de milho a 0,5%(p/p) dentro do biorreator como agente antiespumante para evitar a formação de espuma excessiva e comprometer o rendimento da etapa. Cerca de 95% dos açúcares fermentescíveis, incluindo glicose, frutose e galactose, são convertidos em etanol. Além do etanol há resíduos de arabinose, hexoses e pectina em concentrações de 2,5%, 0,5%, 0,3% e 3,1% (p / p), respectivamente.

O efluente do fermentador é depositado em um decantador em formato de cone com tempo de residência de 30 min. O decantador tem duas saídas: a corrente de fundo que recircula a levedura para o biorreator, e a corrente de topo que alimentam as duas colunas de destilação.

O etanol deixa o sistema de destilação a 91% (p / p) na forma de vapor e a purificação adicional até 99,9% (p / p) é realizada em um sistema de desidratação por peneira molecular.

Os resíduos sólidos dos hidrolisados precipitados após lavagem com a água de saída do sistema de destilação, são alimentados aos digestores anaeróbicos, onde ocorre a produção de biogás com composição de 41% metano e 50% CO₂ (POURBAFRANI et al., 2010). Para a purificação do gás resultante, este é alimentado em uma unidade de adsorção com tecnologia de pressão modulada, sistema "PSA"

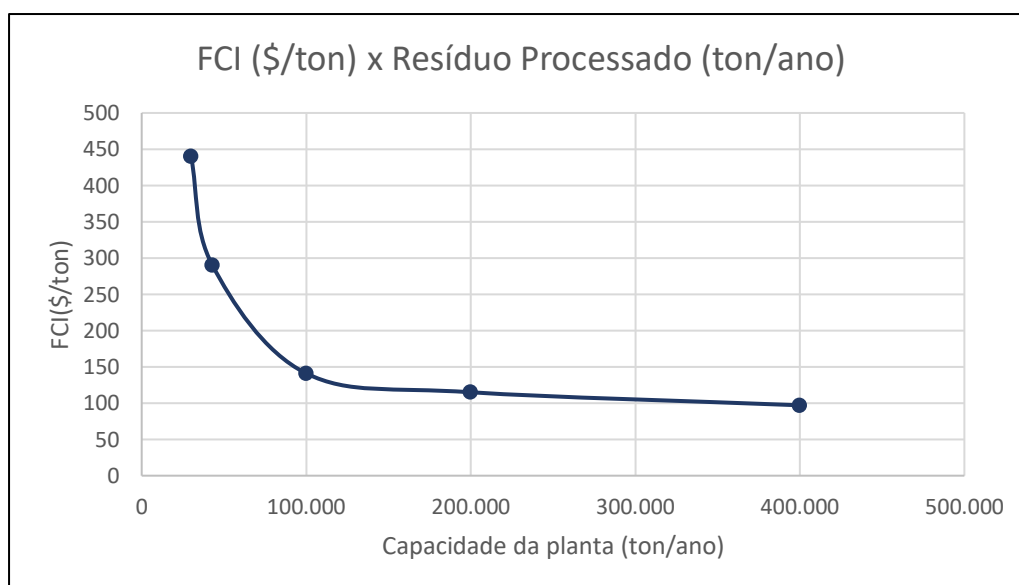
(*Pressure swing adsorption*), no qual fornece um gás de saída com grau de pureza de 98% de metano.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE ECONÔMICA

5.1 CENÁRIOS PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Conforme citado anteriormente, estima-se que no Brasil sejam produzidos anualmente cerca de 6,35 milhões de toneladas de resíduos provenientes da cadeia produtiva de suco concentrado de laranja. Para definição dos cenários a serem estudados, foram escolhidas como escalas de produção as mesmas apresentadas no artigo utilizado como base deste trabalho escrito por Lohrasbi et al. (2010), sendo estas em quantidade de resíduo processado: 100.000 ton/ano; 200.000 ton/ano e 400.000 ton/ano. Esta escolha foi realizada pelo fato do artigo base apresentar a economia de escala proveniente deste aumento de capacidade e representada pelo gráfico a seguir:

Figura 9 — Economia de Escala no Processamento de Resíduo



Fonte: Adaptado de Lohrasbi et al. (2010)

Desta forma, torna-se possível realizar as estimativas de investimento e custo a partir destes valores. Além disso, o autor também cita que no processamento de uma tonelada fresca (20% de matéria seca) de resíduo, o rendimento geral deste processo é de cerca de 39,5 L de Etanol, 8 Kg de Limoneno e 44,8 Nm³ de Biogás. Sendo assim, foi definida a quantidade de cada produto que seria gerada em cada um

dos cenários multiplicando estes valores pela quantidade de resíduo processado conforme mostrando na tabela 5 a seguir:

Tabela 5 — Produção em cada Cenário

Capacidade (ton/ano)	Etanol (m ³ /ano)	Limoneno (ton/ano)	Biogás (Nm ³ /ano)
100.000	3.950	800	4.480.000
200.000	7.900	1600	8.960.000
400.000	15.800	3200	17.920.000

Contudo, conforme apresentado por Lohrasbi et al. (2010), escalas de produção ligeiramente superiores a 400.000 ton/ano tendem a apresentar investimento fixo proporcional ao aumento da capacidade, eliminando os efeitos de economia de escala. Além disso, há a necessidade de se realizar mais estudos para determinar o comportamento em escalas mais distantes, para saber em que ponto começa a ocorrer a deseconomia de escala, ou seja, o ponto em que a partir deste aumenta-se o custo de produção unitário paralelamente ao aumento da capacidade produtiva. Nesse contexto, estes fatos acabam por limitar o escopo do estudo de viabilidade para as capacidades propostas anteriormente.

5.1.1 Escolha da Localização

A escolha da localização de instalações industriais deve levar em consideração fatores como tipo de instalações, produtos, fontes de insumo, público-alvo e sua localização, além de aspectos econômicos, sociais e políticos, demonstrando assim sua alta complexidade e importância (ALVES; ALVES, 2013).

A localização ideal para uma empresa é aquela que resulta na diminuição de custos envolvidos na operação e logística, e que maximiza o nível de serviços oferecidos a seus clientes (ALVES; ALVES, 2013).

Com base na premissa descrita anteriormente, o estudo da localização é complexo e a análise dos diversos fatores envolvidos neste tema foge ao escopo do trabalho, por isso, como forma de simplificação optou-se em localizar a planta industrial na cidade de Matão (SP), de forma a minimizar os custos de logística referente ao transporte de resíduo sólido. Além disso, devido ao elevado número de

extratoras, conforme ilustrado na figura 1, a região é capaz de suprir a demanda de matéria-prima da unidade em todos os cenários analisados no estudo.

5.2 INVESTIMENTO

Com base nos valores de investimento fixo necessário para cada um dos cenários propostos, definidos no trabalho de Lohrasbi et al. (2010) e apresentados na figura 9, pode-se calcular os seus componentes para cada cenário proposto através das correlações descritas no item (2.1).

O fator de correção foi calculado como demonstrado na equação abaixo, a partir do índice de correção temporal CEPCI, conforme elucidado também no item (2.1).

$$IC = \frac{CEPCI(2019)}{CEPCI(2010)} = \frac{607,5}{550,8} = 1,1029 \quad (10)$$

Visando a instalação da planta no território brasileiro, o presente trabalho utilizou o fator de localização (FL) de 1,14, conforme tabela indicada por TOWLER e apresentada logo a seguir:

Figura 10 — Fatores de Localização para diferentes países.

Country	Region	Location Factor
United States	Gulf Coast	1.00
	East Coast	1.04
	West Coast	1.07
	Midwest	1.02
Canada	Ontario	1.00
	Fort McMurray	1.60
Mexico		1.03
Brazil		1.14
China	imported	1.12
	indigenous	0.61
Japan		1.26
SE Asia		1.12
Australia		1.21
India		1.02
Middle East		1.07
France		1.13
Germany		1.11
Italy		1.14
Netherlands		1.19
Russia		1.53
United Kingdom		1.02

Os valores dos componentes calculados encontram-se consolidados na tabela 6 a seguir:

Tabela 6 — Investimento de Capital Fixo x Capacidade da Planta

Capacidade (ton/ano)	100.000	200.000	400.000
Investimento Fixo (USD)	20.116.896	30.175.344	50.292.240
ISBL	11.053.240	16.579.859	27.633.099
OSBL	4.421.296	6.631.944	11.053.240
Custos de Engenharia	3.094.907	4.642.361	7.737.268
Encargos de Contingência	1.547.454	2.321.180	3.868.634

5.3 CUSTOS DE PRODUÇÃO

Os custos de produção podem ser definidos como a soma dos custos fixos de produção e dos custos variáveis, conforme detalhado no item 2.2 do capítulo de metodologia. Abaixo segue o demonstrativo dos cálculos para estimativa destas duas parcelas e obtenção do custo total de produção.

5.3.1 Custos Fixos de Produção

Como descrito no item (2.2.1), os custos fixos de produção representam as despesas diretamente ligadas a atividade produtiva e que não variam com a quantidade produzida.

5.3.1.1 Custos de Mão-de-Obra

Segundo dados apurados de 2017, o salário médio pago por colaborador na indústria química brasileira foi de US\$ 2.453 por mês (ABIQUIM, 2017). Para trazer esse valor para os dias atuais, converteu-se o mesmo para a moeda brasileira utilizando-se a cotação do dólar no fim do ano de 2017, atualizando esse valor aplicando o INPC - Índice Nacional de Preços ao Consumidor dos últimos doze meses de outubro de 2020 com dezembro de 2017, sendo o valor obtido de 14,05 % (Melhor Câmbio, 2020). Em seguida, converteu-se novamente o valor encontrado para o dólar

americano utilizando a cotação obtida para o ano de 2020. Os resultados obtidos estão resumidos na tabela a seguir.

Tabela 7 — Atualização do Salário Médio para 2020

Ano de Referência	Valor em Dólar (US\$)	Valor em Real (R\$)	Cotação Dólar (R\$)
2017	2.453,00	8.119,43	3,31 (IPEA, 2020)
2020	1.604,81	9.259,76	5,77 (IPEA, 2020)

Utilizando o artigo texto base de Lohrasbi et al. (2010), para uma planta com capacidade de processamento de 100.000 ton/ano, seriam necessários cerca de 19 funcionários. Apesar das dos cenários analisados possuírem capacidades maiores que a utilizada como referência, as plantas ainda podem ser consideradas como de pequeno porte. Dessa forma, é razoável considerar que o mesmo número de funcionários seria capaz de operar a unidade nos três cenários propostos.

Sendo assim, o custo de mão de obra será o mesmo para todos os cenários e está mostrado na tabela a seguir.

Tabela 8 — Estimativa Custo de Mão de obra

Estimativa do N° de funcionários	Custo colaboradores (\$/ano)	Custo supervisão e gerência (\$/ano)	Encargos sociais + Benefícios (\$/ano)	Custo de mão de obra total (\$/ano)
19	365.897	91.474	228.685	686.056

5.3.1.2 Custos de Manutenção

Os valores foram calculados para cada cenário com base nas premissas apresentadas no item (2.2.1.2) e podem ser observadas na tabela a seguir:

Tabela 9 — Estimativa Custo de Manutenção

Capacidade (ton/ano)	ISBL (\$)	Custo Manutenção (\$/ano)
100.000	11.053.240	552.662
200.000	16.579.859	828.993
400.000	27.633.099	1.381.655

5.3.1.3 Custos com Seguro

Os valores foram calculados para cada cenário de acordo com o item (2.2.1.3) e estão apresentados na tabela 10 a seguir:

Tabela 10 — Estimativa Custo de Seguro

Capacidade (ton/ano)	ISBL (USD)	OSBL (USD)	Custo de seguro (\$/ano)
100.000	11.053.240	4.421.296	154.745
200.000	16.579.859	6.631.944	232.118
400.000	27.633.099	11.053.240	386.863

5.3.1.4 Despesas Operacionais

Partindo-se da premissa estabelecida no item (2.2.1.4), no qual estima-se que as despesas administrativas correspondem a 50% dos custos de mão de obra total, sendo este o mesmo para todos os cenários, e as despesas com pesquisa e desenvolvimento como sendo 1% da receita, temos que as despesas operacionais se dá pelo somatório dessas duas parcelas e está mostrado na tabela 11 a seguir.

Tabela 11 — Estimativa de Despesas Operacionais

Capacidade (ton/ano)	Custo de mão de obra total (\$/ano)	Pesquisa e Desenvolvimento (\$/ano)	Despesas Operacionais (\$/ano)
100.000	686.056	67.480	410.508
200.000	686.056	134.960	477.988
400.000	686.056	269.920	612.948

Com isso, é possível determinar o custo fixo total para cada cenário conforme apresentado na tabela resumo abaixo.

Tabela 12 — Valores estimados de custos fixos e suas parcelas

Capacidade (ton/ano)	Custo de mão de obra total (\$/ano)	Custo Manutenção (\$/ano)	Custo de seguro (\$/ano)	Despesas Operacionais (\$/ano)	Custo Fixo Total (\$/ano)
100.000	686.056	552.662	154.745	410.508	1.803.971

200.000	686.056	828.993	232.118	477.988	2.225.155
400.000	686.056	1.381.655	386.863	612.948	3.067.522

5.3.2 Custos Variáveis de Produção

Diferentemente dos custos fixos, os custos variáveis de produção relacionam-se diretamente com a escala de operação da planta e a quantidade produzida como citado no item (2.2.2).

5.3.2.1 Custos de Matéria-Prima

Uma das premissas adotadas na escolha da localização da planta em Matão (SP) foi a proximidade das extratoras de suco de laranja, permitindo assim reduzir ao máximo a distância necessária a ser percorrida de forma a transportar o resíduo para o processamento. Sendo assim, a parcela referente às distâncias percorridas também será considerada como sendo zero.

Por fim, devido à dificuldade de se estimar os custos fixos de transporte, arbitrou-se um valor de US\$ 8 /tonelada. Este valor foi baseado no estudo realizado por Kumar, Cameron e Flynn (2005), onde os autores realizaram uma revisão bibliográfica dos valores de transporte para diversos tipos de biomassa com ordem de grandeza semelhante ao valor arbitrado.

Desta forma, os custos de aquisição de matéria-prima estão apresentados para cada cenário na tabela a seguir:

Tabela 13 — Estimativa Custo de Matéria-Prima

Capacidade (ton/ano)	Custo de MP (\$/ano)
100.000	800.000
200.000	1.600.000
400.000	3.200.000

5.3.2.2 Utilidades e Consumíveis

Os custos de utilidades e consumíveis foram determinados através das equações descritas no item (2.2.2.2) para todos os cenários propostos, assim como o custo variável total, conforme mostra a tabela apresentada a seguir:

Tabela 14 — Estimativa Custo de Utilidades e Consumíveis

Capacidade (ton/ano)	Custo matéria-prima (\$/ton)	Custo Total de produção (\$/ano)	Custo de utilidades (\$/ano)	Custo de consumíveis (\$/ano)	Custo Variável Total (\$/ano)
100.000	800.000	2.893.301	202.531	86.799	1.089.330
200.000	1.600.000	4.250.172	297.512	127.505	2.025.017
400.000	3.200.000	6.963.914	487.474	208.917	3.896.391

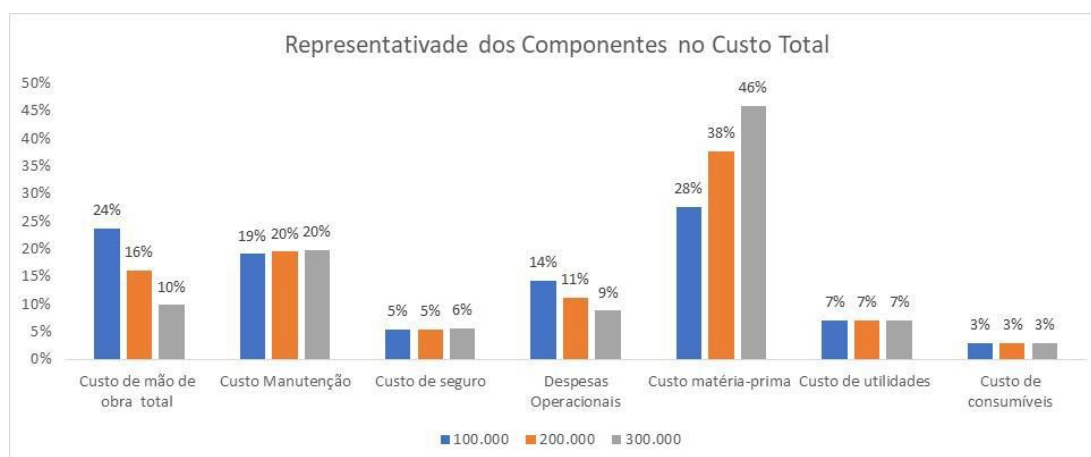
Definidos todos os componentes do Custo Fixo Total e do Custo Variável Total, obtém-se o Custo Total de Produção e concluindo-se assim a estimativa de custos. Com o Custo total de Produção definido, é possível calcular o custo unitário por litro de Etanol Anidro produzido. Os valores se encontram na tabela apresentada a seguir.

Tabela 15 — Valores estimados do custo total de produção e suas parcelas

Capacidade (ton/ano)	Custo Variável Total (\$/ano)	Custo Fixo Total (\$/ano)	Custo Total de produção (\$/ano)
100.000	1.089.330	1.803.971	2.893.301
200.000	2.025.017	2.225.155	4.250.172
400.000	3.896.391	3.067.522	6.963.914

Além disso, decidiu-se analisar a representatividade de todos os custos dentro do custo total de produção conforme mostrado no gráfico 3 abaixo. Pode-se reparar que conforme esperado o custo de matéria-prima apresentou maior percentual dentro da composição de custos qualquer que seja o cenário analisado.

Gráfico 3 — Representatividade dos Componentes no Custo Total



5.4 ESTIMATIVA DE RECEITAS

O principal produto deste processo, o bioetanol, dificilmente poderá ser vendido por valores acima do seu preço de custo, valor este que se encontra próximo e US\$ 0,40 por litro. Isso ocorre pois o preço de venda do mesmo etanol produzido a partir da cana de açúcar oscila entre valores próximos a este (US\$ 0,36 por litro de Etanol em Outubro de 2020) (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - USP, 2020), e logo, para se manter competitivo no mercado, o valor unitário estimado para ser utilizado na análise econômica será de US\$ 0,40 por litro de bioetanol.

Em relação aos subprodutos, segundo fontes do mercado, o limoneno em 2020 tem sido vendido por um valor que gira em torno de US\$ 4,50 por kg de produto. Logo, o limoneno acaba apresentando um elevado valor comercial, podendo alavancar de forma significativa as receitas oriundas do processo proposto. Já o biogás poderia ser vendido para as próprias extratoras devido a sua capacidade de geração de energia. Segundo Sierra et al. (2008) o preço de venda do biogás gira em torno dos US\$ 0,35 por Nm³, valor este que será considerado na análise econômica.

Utilizando-se os valores unitários propostos acima de bioetanol (US\$ 0,40/l), limoneno (US\$ 4,50/kg) e biogás (US\$ 0,35/Nm³), e, multiplicando-se pela quantidade total produzida em cada cenário, têm-se a estimativa de receitas conforme mostrado na tabela a seguir.

Tabela 16 — Estimativa de Receitas

Capacidade (ton/ano)	Etanol Produzido (m ³ /ano)	Receitas Etanol (\$/ano)	Limoneno produzido (kg/ano)	Receitas Limoneno (\$/ano)	Biogás Produzido (Nm ³ /ano)	Receitas Biogás (\$/ano)	Receitas Totais (\$/ano)
100.000	3.950	1.580.000	800.000	3.600.000	4.480.000	1.568.000	6.748.000
200.000	7.900	3.160.000	1.600.000	7.200.000	8.960.000	3.136.000	13.496.000
400.000	15.800	6.320.000	3.200.000	14.400.000	17.920.000	6.272.000	26.992.000

5.5 ELABORAÇÃO DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS

Com todas as estimativas de investimento, custos e receitas realizadas foram elaboradas as demonstrações contábeis para cada cenário proposto, considerando um horizonte de planejamento de 15 anos e o cronograma de partida conforme detalhado no item 2.4. A seguir estão apresentados o Demonstrativo de Resultado em Exercício (DRE) e o Demonstrativo de Fluxo de Caixa (DFC) para o cenário base de processamento de 100.000 ton/ano de resíduo. Os demonstrativos para os outros cenários propostos encontram-se no anexo deste trabalho.

DEMONSTRATIVO DE RESULTADO EM EXERCÍCIO – CENÁRIO 1

CAPACIDADE INSTALADA: 100.000 TON/ANO	ANO DE OPERAÇÃO							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Receita Operacional Líquida	-	-	US\$ 2.024.400	US\$ 4.723.600	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000
(-) Custos Variáveis	-	-	US\$ 326.799	US\$ 762.531	US\$ 1.089.330	US\$ 1.089.330	US\$ 1.089.330	US\$ 1.089.330
Matéria-Prima	-	-	US\$ 240.000	US\$ 560.000	US\$ 800.000	US\$ 800.000	US\$ 800.000	US\$ 800.000
Utilidades	-	-	US\$ 60.759	US\$ 141.772	US\$ 202.531	US\$ 202.531	US\$ 202.531	US\$ 202.531
Consumíveis	-	-	US\$ 26.040	US\$ 60.759	US\$ 86.799	US\$ 86.799	US\$ 86.799	US\$ 86.799
(-) Custos Fixos	-	-	US\$ 1.756.735	US\$ 1.783.727	US\$ 1.803.971	US\$ 1.803.971	US\$ 1.803.971	US\$ 1.803.971
Mão-de-obra	-	-	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	-	-	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662
Seguro	-	-	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745
Despesas Operacionais	-	-	US\$ 363.272	US\$ 390.264	US\$ 410.508	US\$ 410.508	US\$ 410.508	US\$ 410.508
(=) Lucro Operacional (EBITDA)	-	-	-US\$ 59.134	US\$ 2.177.342	US\$ 3.854.699	US\$ 3.854.699	US\$ 3.854.699	US\$ 3.854.699
(-) Depreciação	-	-	US\$ 1.547.454	US\$ 1.547.454	US\$ 1.547.454	US\$ 1.547.454	US\$ 1.547.454	US\$ 1.547.454
(=) Lucro Bruto (EBIT)	-	-	-US\$ 1.606.588	US\$ 629.888	US\$ 2.307.245	US\$ 2.307.245	US\$ 2.307.245	US\$ 2.307.245
(-) Imposto de Renda	-	-	-	US\$ 214.162	US\$ 784.463	US\$ 784.463	US\$ 784.463	US\$ 784.463
(=) Lucro Líquido	-	-	-US\$ 1.606.588	US\$ 415.726	US\$ 1.522.782	US\$ 1.522.782	US\$ 1.522.782	US\$ 1.522.782

FLUXO DE CAIXA – CENÁRIO 1

CAPACIDADE INSTALADA: 100.000 TON/ANO	ANO DE OPERAÇÃO		CONSTRUÇÃO/OPERAÇÃO	OPERAÇÃO DA PLANTA	
	CONSTRUÇÃO DA PLANTA			3	4
	0	1	2		
(+)Entradas	US\$ -	US\$ -	US\$ 2.024.400	US\$ 4.723.600	US\$ 6.748.000
Receita Operacional Líquida	US\$ -	US\$ -	US\$ 2.024.400	US\$ 4.723.600	US\$ 6.748.000
Retorno Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
(-)Saídas	US\$ 6.035.069	US\$ 12.070.138	US\$ 6.106.913	US\$ 2.546.258	US\$ 2.893.301
Custos Totais de Produção	US\$ -	US\$ -	US\$ 2.083.534	US\$ 2.546.258	US\$ 2.893.301
Custos Variáveis	US\$ -	US\$ -	US\$ 326.799	US\$ 762.531	US\$ 1.089.330
Matéria-Prima	US\$ -	US\$ -	US\$ 240.000	US\$ 560.000	US\$ 800.000
Utilidades	US\$ -	US\$ -	US\$ 60.759	US\$ 141.772	US\$ 202.531
Consumíveis	US\$ -	US\$ -	US\$ 26.040	US\$ 60.759	US\$ 86.799
Custos Fixos	US\$ -	US\$ -	US\$ 1.756.735	US\$ 1.783.727	US\$ 1.803.971
Mão de Obra	US\$ -	US\$ -	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	US\$ -	US\$ -	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662
Seguro	US\$ -	US\$ -	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745
Despesas Operacionais	US\$ -	US\$ -	US\$ 363.272	US\$ 390.264	US\$ 410.508
Investimento Total (Fixo + Capital de Giro)	US\$ 6.035.069	US\$ 12.070.138	US\$ 4.023.379	US\$ -	US\$ -
Investimento Fixo (CAPEX)	US\$ 6.035.069	US\$ 12.070.138	US\$ 2.011.690	US\$ -	US\$ -
ISBL	US\$ 3.315.972	US\$ 6.631.944	US\$ 1.105.324	US\$ -	US\$ -
OSBL	US\$ 1.326.389	US\$ 2.652.778	US\$ 442.130	US\$ -	US\$ -
Custos de Engenharia	US\$ 928.472	US\$ 1.856.944	US\$ 309.491	US\$ -	US\$ -
Encargos de Contingência	US\$ 464.236	US\$ 928.472	US\$ 154.745	US\$ -	US\$ -
Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ 2.011.690	US\$ -	US\$ -
Lucro Bruto	-US\$ 6.035.069	-US\$ 12.070.138	-US\$ 4.082.513	US\$ 2.177.342	US\$ 3.854.699
(-)Imposto de Renda	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ 214.162	US\$ 784.463
Geração Anual de Caixa	-US\$ 6.035.069,10	-US\$ 12.070.138,20	-US\$ 4.082.513,30	US\$ 1.963.179,92	US\$ 3.070.235,54

CONTINUAÇÃO - FLUXO DE CAIXA – CENÁRIO 1

CAPACIDADE INSTALADA: 100.000 TON/ANO	OPERAÇÃO DA PLANTA					
	10	11	12	13	14	
(+)Entradas	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 8.759.690
Receita Operacional Líquida	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000	US\$ 6.748.000
Retorno Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ 2.011.690
(-)Saídas	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301
Custos Totais de Produção	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301	US\$ 2.893.301
Custos Variáveis	US\$ 1.089.330	US\$ 1.089.330	US\$ 1.089.330	US\$ 1.089.330	US\$ 1.089.330	US\$ 1.089.330
Matéria-Prima	US\$ 800.000	US\$ 800.000	US\$ 800.000	US\$ 800.000	US\$ 800.000	US\$ 800.000
Utilidades	US\$ 202.531	US\$ 202.531	US\$ 202.531	US\$ 202.531	US\$ 202.531	US\$ 202.531
Consumíveis	US\$ 86.799	US\$ 86.799	US\$ 86.799	US\$ 86.799	US\$ 86.799	US\$ 86.799
Custos Fixos	US\$ 1.803.971	US\$ 1.803.971	US\$ 1.803.971	US\$ 1.803.971	US\$ 1.803.971	US\$ 1.803.971
Mão de Obra	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662	US\$ 552.662
Seguro	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745	US\$ 154.745
Despesas Operacionais	US\$ 410.508	US\$ 410.508	US\$ 410.508	US\$ 410.508	US\$ 410.508	US\$ 410.508
Investimento Total (Fixo + Capital de Giro)	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Investimento Fixo (CAPEX)	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
ISBL	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
OSBL	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Custos de Engenharia	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Encargos de Contingência	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Lucro Bruto	US\$ 3.854.699	US\$ 3.854.699	US\$ 3.854.699	US\$ 3.854.699	US\$ 3.854.699	US\$ 5.866.389
(-)Imposto de Renda	US\$ 784.463	US\$ 784.463	US\$ 784.463	US\$ 784.463	US\$ 784.463	US\$ 784.463
Geração Anual de Caixa	US\$ 3.070.235,54	US\$ 3.070.235,54	US\$ 3.070.235,54	US\$ 3.070.235,54	US\$ 3.070.235,54	US\$ 5.081.925,14

5.6 CÁLCULO DOS INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Definidos os fluxos de caixa previstos para cada um dos cenários, calculou-se os indicadores de viabilidade econômica para cada um destes conforme descrito no item 2.5. Em outubro de 2020, a taxa básica de juros da economia no Brasil (SELIC) encontra-se em 2% ao ano (Banco Central do Brasil, 2020). Logo, para determinar a taxa de desconto para o cálculo do VPL, considerou-se como base uma Taxa Mínima de Atratividade de 10% ao ano levando em consideração a diferença de risco e a reduzida liquidez do investimento no projeto em questão quando comparado com o investimento em títulos da dívida pública indexados à taxa SELIC, além de ser o retorno médio esperado de um investimento industrial. Os indicadores calculados a partir destas premissas adotadas estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 17 — Cálculo dos Indicadores de Viabilidade Econômica (Taxa de Desconto de 10% a.a)

Cenário (ton/ano)	VPL (USD\$)	TIR (% a.a)	PAYBACK (anos)
100.000	-3.394.948	7,23	-
200.000	7.339.297	13,71	10,68
400.000	32.234.848	19,15	7,80

Contudo, apesar da taxa SELIC estar no valor mais baixo da sua história, nos últimos 10 anos ela apresentou uma alta oscilação chegando a se encontrar no seu topo histórico de 14,25% ao ano durante os anos de 2015 e 2016. (Banco Central do Brasil, 2020). Nesse contexto, realizou-se uma análise de sensibilidade variando-se a taxa de desconto para avaliar o quanto possíveis variações na taxa SELIC impactariam no VPL do projeto para cada um dos cenários. Os resultados encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 18 — VPL(US\$) para diferentes taxas de desconto – Cenário Base: 10% a.a

Cenário (ton/ano)	6% a.a	8%.a.a	10% a.a	12% a.a
100.000	1.813.695	-1.068.428	-3.394.948	- 5.281.698
200.000	18.960.290	12.557.483	7.339.297	3.062.244
400.000	57.918.306	43.795.600	32.234.848	22.713.219

Fonte: Os autores (2020)

Ao se analisar as tabelas 17 e 18, nota-se que a viabilidade do projeto para o cenário 1 fica comprometida em quase todos os cenários, apresentando VPL positivo apenas em taxas inferiores a 7,23% ao ano. Além disso, mesmo no cenário em que apresenta VPL positivo, o mesmo é significativamente inferior aos outros cenários estudados, levando quase todo o tempo de vida útil da unidade para retornar o capital investido. Dessa forma, será adotado o cenário de 400.000 ton/ano como base para as análises de sensibilidade posteriores a outros parâmetros devido a sua superior rentabilidade em relação ao segundo cenário e ao seu desempenho superior mesmo em cenários de alta na taxa SELIC.

Nesse contexto, decidiu-se por analisar a sensibilidade do projeto quanto a variações no custo de aquisição de matéria-prima e no custo de mão de obra, devido à dificuldade em se prever com acurácia estes dois fatores. Além disso, analisou-se também a sensibilidade quanto a variação no preço de venda do limoneno, pois em um cenário onde o preço de venda do etanol produzido deverá ser próximo ao preço de custo, a viabilidade do projeto estará intimamente relacionada com a capacidade de se rentabilizar os seus subprodutos. A análise dessas variações e seus impactos na VPL e na TIR do cenário em questão estão representados nos gráficos a seguir.

Gráfico 4 — Análise de Sensibilidade para o Custo de Mão de Obra

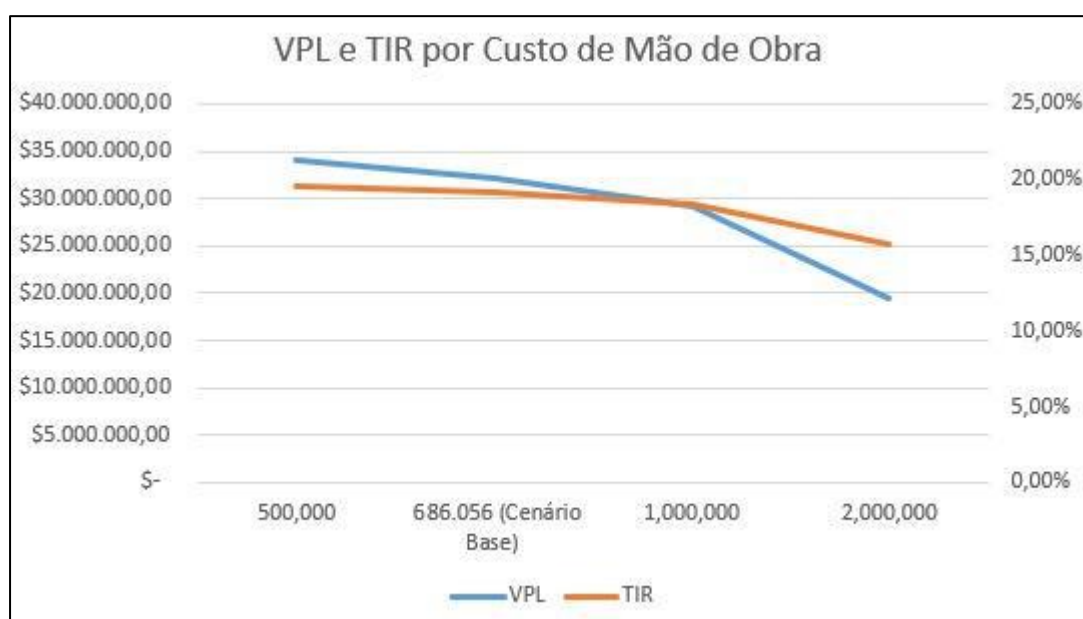


Gráfico 5 — Análise de Sensibilidade para o Custo de Matéria-Prima

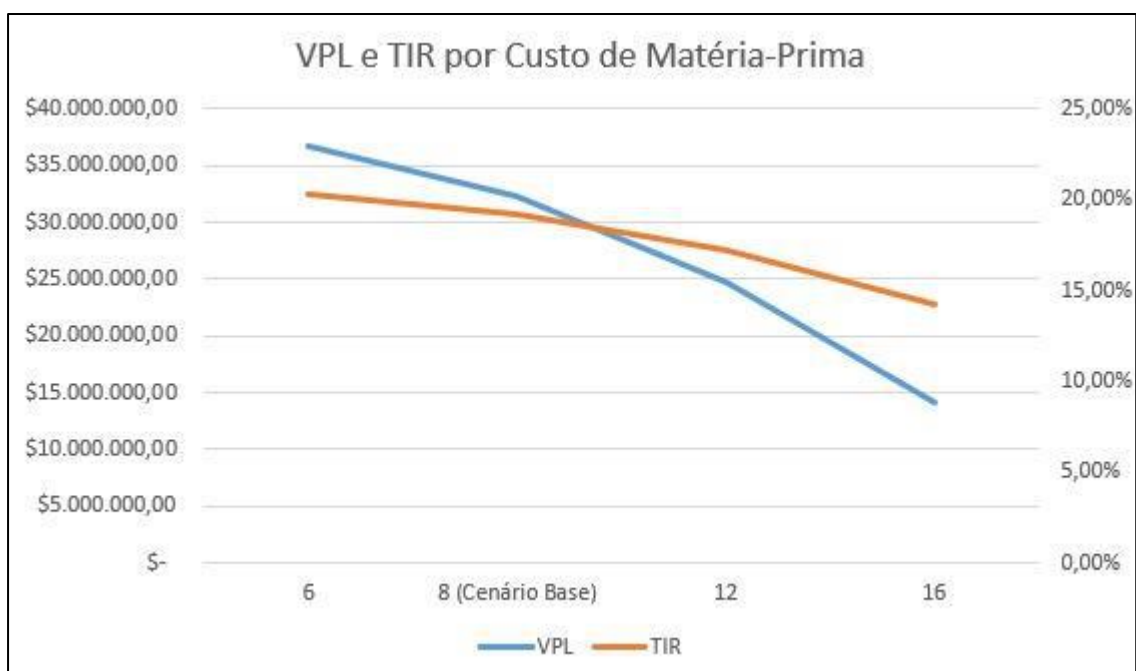
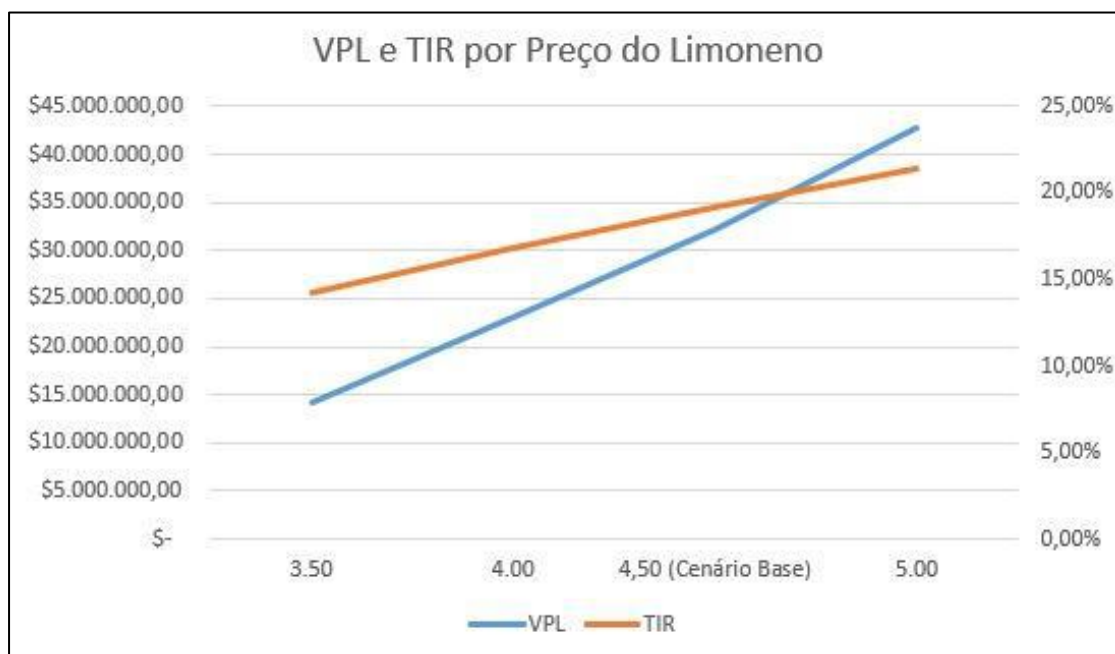


Gráfico 6 — Análise de Sensibilidade para o Preço de Venda do Limoneno



Ao se analisar os gráficos apresentados, nota-se que assim como esperado o preço de venda do limoneno apresenta o maior impacto no retorno do projeto, onde uma redução de US\$ 1,00 no seu valor implica em uma redução de cerca de 46% no

VPL do projeto e faz com que a sua TIR caia para aproximadamente 14,3%, conforme mostrado no gráfico 6. Contudo, mesmo considerando os cenários mais pessimistas para os parâmetros escolhidos a viabilidade do projeto se mantém em todos cenários. Em termos de tempo de retorno, o pior cenário analisado, onde o preço de venda do limoneno se encontra em US\$ 3,50/kg, apresentou um Payback descontado de 10,26 anos. Este valor apesar de ser 32% superior ao cenário base (Payback de 7,80 anos) ainda se mostra como um tempo razoável de retorno pois também considera os 3 anos estimados para a construção da unidade.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo estudar as alternativas existentes para o aproveitamento do resíduo gerado na produção de suco de laranja e, a partir de uma rota tecnológica existente, avaliar a viabilidade da instalação de uma planta processadora deste mesmo resíduo tendo em vista a análise das variáveis que poderiam causar algum impacto dentro dessa viabilidade.

Ao longo do trabalho, optou-se por avaliar a viabilidade econômica de uma unidade integrada produtora de bioetanol, biogás e limoneno, devido ao fato do etanol possuir um mercado já consolidado dentro do Brasil e com perspectiva de aumento na demanda nos próximos anos, além da relativa simplicidade do processo, da possibilidade de se gerar subprodutos com alto valor agregado e da oportunidade de se produzir etanol a partir de uma matéria-prima mais barata do que as alternativas usualmente utilizadas.

Para a determinação da localidade para a instalação da unidade em questão, realizou-se um estudo de forma a mapear a localização do setor citrícola brasileiro e das empresas produtoras de suco de laranja. Dentro deste estudo foi possível determinar que no setor, a maioria destas empresas concentra-se no interior de São Paulo. Partindo da idealização de uma planta integrada as empresas produtoras de suco, foi possível determinar que esta região seria a melhor alternativa para a instalação da planta, sendo capaz de abastecer a unidade por conta da grande quantidade de extratoras, principalmente no município de Matão e arredores.

Durante a determinação das escalas de operação dessa unidade, observou-se que na literatura encontrada haviam estimativas de investimento que apontavam para o início de uma possível deseconomia de escala a partir da capacidade de processamento de 400.000 ton/ano. Contudo, não foi possível achar referências indicativas do investimento fixo necessário para capacidades maiores e se o mesmo deixaria de seguir uma tendência de economia de escala o que acabou limitando o estudo até a escala citada. Logo, pode-se concluir que há a necessidade de se realizar mais estudos em relação ao comportamento do investimento fixo para escalas maiores, principalmente com o uso de simuladores e um maior detalhamento dos equipamentos a serem utilizados no processo.

Ao se determinar as demonstrações contábeis a partir das estimativas realizadas e então calcular os indicadores de viabilidade econômica, notou-se que a escala base de 100.000 ton/ano de resíduo processados não possui viabilidade baseado nas premissas adotadas, diferentemente do resultado encontrado por Lohrasbi et al. (2010). Logo, optou-se por avançar na análise de sensibilidade na escala limite de 400.000 ton/ano para estudar o comportamento dos indicadores em relação a alterações em algumas variáveis escolhidas, devido ao fato desta escala apresentar um VPL e uma TIR que indicam uma ótima possibilidade de viabilidade.

Por fim, optou-se por fazer a análise de sensibilidade nos seguintes parâmetros: Custo de Mão de Obra, Custo de Matéria-Prima e Preço de Venda do limoneno. Os dois primeiros foram escolhidos devido à dificuldade em se fazer estimativas para estes custos, pois é necessário um detalhamento maior do processo para se estimar o número de funcionários com maior acurácia, além da necessidade de se realizar maiores estudos para determinar o custo de logística para o transporte de resíduos sólidos no Brasil. Já o terceiro foi escolhido por conta do alto custo unitário de produção do etanol gerar um indicativo de que a viabilidade do processo seria muito dependente da capacidade de se rentabilizar os seus subprodutos, e, por possuir um alto valor agregado o limoneno aparentou ser o produto com maior impacto dentro das receitas.

Ao se calcular novamente os indicadores de viabilidade após alterações em cada uma destas variáveis, chegou-se a seguinte conclusão: Apesar do aumento nos custos de mão de obra e de matéria-prima gerarem uma considerável redução no VPL e na TIR do projeto, estes aumentos passam longe de inviabilizar o mesmo. Já a redução no preço de venda do limoneno gera uma redução mais acentuada nestes indicadores, onde uma queda de USD\$ 1,00 no valor de venda implica em uma queda de 46% no VPL uma redução da TIR para 14,3% a.a. Contudo, ainda assim o projeto aparenta ser resiliente, apresentando um aumento no payback de apenas 2,46 anos.

Logo, pode-se concluir que há um indicativo de que o principal determinante da viabilidade econômica de uma planta produtora de bioetanol a partir do resíduo da produção de suco de laranja seja a capacidade de venda de limoneno. Porém, mais estudos devem ser realizados de forma a aumentar a confiabilidade das estimativas realizadas e avaliar escalas de produção superiores de forma a determinar qual seria

a capacidade ótima de processamento, ou seja, com menor custo médio de produção. Além disso, pode-se realizar estudos para avaliar a possibilidade da geração de outros produtos com elevado valor agregado, como por exemplo flavonoides, pectina, dentre outros, de forma a integrar ao processo e melhorar a sua viabilidade de longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM. **O Custo Total da Mão de Obra no segmento de produtos químicos de uso industrial – CTMO**. 2017. Disponível em: . Acesso em: 22 nov. 2020.

ACIDADEON/ARARAQUARA. **Araraquara e Matão possuem as duas maiores indústrias de suco de laranja no mundo**: Série de reportagens especiais produzida pela EPTV Central seguiu a rota da laranja até os Estados Unidos, país que mais consome o suco brasileiro. **A cidade On**. 2019. Disponível em: <https://www.acidadeon.com/araraquara/cotidiano/NOT,0,0,1400096,araraquara+e+matao+possuem+as+duas+maiores+industrias+de+suco+de+laranja+do+mundo.aspx>. Acesso em: 14 nov. 2020.

ALISARAEI, Ahmad Taghizadeh et al. Biofuel production from citrus wastes: A feasibility study in Iran. **Elsevier**, Iran, n. 69, p. 1100-1112, 2017. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

ALVES, José; ALVES, João. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). **SciELO**, 2013.

ANDRADE JUNIOR, Milton Aurelio et al. Exploring future scenarios of ethanol demand in Brazil and their land-use implications. **Elsevier**, v. 134, n. 110958, p. 12, Novembro 2019. *Energy Policy*.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE SUCOS CITRICOS. **Economia**: Mapeamento da cadeia. **Citrus BR**. 2020. Disponível em: <http://www.citrusbr.com>. Acesso em: 25 jan. 2020.

AWAN, Almas Taj. **Orange waste as a biomass for 2G-ethanol production**. Campinas, 2013. Tese (Instituto de Química) - Universidade Estadual de Campinas.

BAHADIR, Tolga et al. The investigation of lead removal by biosorption: An application at storage battery industry wastewaters. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 41, 2007.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico da Taxa de Juros**. 2020. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 22 nov. 2020.

BENELLI, PATRÍCIA. **AGREGAÇÃO DE VALOR AO BAGAÇO DE LARANJA (CITRUS SINENSIS L. OSBECK) MEDIANTE OBTENÇÃO DE EXTRATOS BIOATIVOS ATRAVÉS DE DIFERENTES TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO**. Florianópolis, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (PROGRAMA DE PÓS-

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS) - Universidade Federal de Santa Catarina – Ufsc .

BERK, Zeki. Citrus Fruit Processing: Production of single-strength citrus juices. **Academic Press**, 2016.

BERREDO, Heloisa Helena. **Fracionamento do Óleo de Laranja utilizando um Sistema Híbrido de Evaporação**. Campinas, f. 169, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Química.

CANTERI, Maria H.G. Pectina: da matéria-prima ao produto final. In: CANTERI, Maria H.G. (Coord.). **Polímeros**. 2. ed. São Carlos, v. 22, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282012000200009&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 21 abr. 2020.

CARVALHO, Felipe. **PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA-DEAÇÚCAR POR AUTOHIDRÓLISE, COM ÊNFASE NA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA**. Brasília, 2018. Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Tecnologias Química e Biológica da Universidade de Brasília.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - USP. **INDICADOR MENSAL DO ETANOL ANIDRO OUTROS FINS CEPEA/ESALQ - SÃO PAULO**. 2020. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/etanol-mensal-sp.aspx>. Acesso em: 22 nov. 2020.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- Guia Técnico Informativo, São Paulo, 2005. 48 p. Série P+L Sucos Cítricos. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/documentos/>. Acesso em: 23 mai. 2020.

CHAUVEL, Alain; FOURNIER, Gilles; RAIMBAULT, Claude. **Manual of Process Economic Evaluation**. Editions TECHNIP, 2003.

CHEN, Yike et al. **In Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products**: Chapter 9: Citrus - Department of Biological and Agricultural Engineering. Davis, CA, United States, 2019.

CHEN, Yike et al. **Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products**: CHAPTER 9 Citrus. Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis, United States, 2019, p. 217-242.

CITRUS BR - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE PRODUTOS CÍTRICOS. **CitrusBr**. São Paulo. Disponível em: www.citrusbr.com. Acesso em: 21 jan. 2020.

COOPERCITRUS COOPERATIVA DE PRODUTORES RURAIS. **INTERIOR DE SÃO PAULO PRODUZ QUASE 80% DA LARANJA BRASILEIRA**. **Coopercitrus**. 2019. Disponível em: <http://www.coopercitrus.com.br/index.php?pag=noticias&act=detalhes¬icia=10645&categoria=>. Acesso em: 31 jan. 2020.

CYPRIANO, DANIELA ZACHARIAS. **BIOMASSA DE CASCA DE LARANJA INDUSTRIAL COMO FONTE DE BIOETANOL E PRODUTOS DE ALTO VALOR AGREGADO**. Campinas, 2015. 112 p. Dissertação (Instituto de Química) - Universidade Estadual de Campinas.

D.A. ZEMA, et al. Valorisation of citrus processing waste: A review. **Waste Management**, Reggio Calabria, Italy, v. 80, p. 252-273, out. 2018.

DELOITTE. **Corporate Tax Rates 2020**: International Tax. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Tax/dttl-tax-corporate-tax-rates.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

FENG, Jianguo et al. Formulation optimization of D-limonene-loaded nanoemulsions as a natural and efficient biopesticide. **Colloids and Surfaces A**, v. 596, 2020.

FERNANDES, Bruno Campos. **Desenvolvimento histórico da citricultura**. Araraquara - SP, 2010. Monografia (Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2010.

GHIMIRE, Prakash C. SNV supported domestic biogas programmes in Asia and Africa. **Renewable Energy**, v. 49, 2013.

HAMMAINI, A. et al. Simultaneous uptake of metals by activated sludge. **Minerals Engineering**, v. 16, 2003.

HILLYER, Gregory Loyde. ETHANOL PRODUCTION FROM CITRUS WASTE THROUGH LIMONENE REDUCTION: Depositante: JJ Florida Properties LLC, Miami, FL. **US nº 8.252,566 B2**, Depósito: 19 Mai, 2009, Concessão: 28 Ago, 2012. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/8c/95/d0/f0be3d8c8b546b/US8252566.pdf>. Acesso em: 21 out. 2020.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 16 jan. 2020.

IPEA. **Taxa de Câmbio Comercial Média**. 2020. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38590&module=M>. Acesso em: 22 nov. 2020.

JENKINS, Scott. **CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX**. 2020. Disponível em: <https://www.chemengonline.com/2019-chemical-engineering-plant-cost-index-annual-average/>. Acesso em: 14 set. 2020.

JUNIOR, Milton Aurelio Uba de Andrade et al. Exploring future scenarios of ethanol demand in Brazil and their land-use implications. **Energy Policy**, v. 134, 2019.

KAN, Tao; STREZOV, Vladimir; EVANS, Tim J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, 2016.

KELLY-VARGAS, Kevin et al. Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 37-39, 2012.

KUMAR, Amit; CAMERON, Jay; FLYNN, Peter. Pipeline transport and simultaneous saccharification of corn stover. **Bioresource Technology**, 2005.

LAPUERTA, Magín et al. Gasification and co-gasification of biomass wastes: Effect of the biomass origin and the gasifier operating conditions. **Fuel Processing Technology**, 2008.

LOHRASBI, Mehdi et al. Process design and economic analysis of a citrus waste biorefinery with biofuels and limonene as products. **Bioresource Technology**, v. 101, 21 mai 2010.

MANESH, M.H. Khoshgoftar; REZAZADEH, A.; KABIRI, S. A feasibility study on the potential, economic, and environmental advantages of biogas production from poultry manure in Iran. **Renewable Energy**, v. 159, 2020.

MARIÇA, Mirela et al. An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. **Trends in Food Science & Technology**, v. 76, p. 28-37, 2018.

MARRISON, Christopher ; LARSON, Eric. Cost Versus Scale for Advanced Plantation-Based Biomass Energy Systems in the U.S. **EPA Symposium on Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Research**, 1995.

MELHOR CÂMBIO. **Calculadora INPC**. 2020. Disponível em: <https://www.melhorcambio.com/inpc>. Acesso em: 22 nov. 2020.

MILANEZ, Artur et al. BIOGÁS DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: PANORAMA E PERSPECTIVAS. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 221-276, março 2018.

MOHAN, Dinesh et al. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – A critical review. **Bioresource Technology**, v. 160, 2014.

MORTENSEN, P.M et al. A review of catalytic upgrading of bio-oil to engine fuels. **Applied Catalysis A: General**, v. 407, 2011.

NEVES, Marcos Fava et al. O retrato da citricultura brasileira. **Markestrat Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia**, Ribeirão Preto - SP, p. 135, 2011.

OLIVEIRA, Bruna Cristina. **COMPLEXIDADE EM BIORREFINARIAS**. Rio de Janeiro, 2016. 110 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

OZTURK, Baranse; WINTERBURN, James; GONZALEZ-MIQUEL, Maria. Orange peel waste valorisation through limonene extraction using bio-based solvents. **Biochemical Engineering Journal**, v. 151, 2019.

PATSALOU, Maria et al. **Citrus peel waste valorization through a biorefinery strategy for the production of succinic acid, ethanol, methane and fertilizer**. Cyprus, f. 12. Trabalho de Disciplina (Agricultural Sciences, Biotechnology and Food Science) - Cyprus University Of Technology, Limassol. Disponível em: http://uest.ntua.gr/naxos2018/proceedings/pdf/NAXOS2018_Patsalou_etal.pdf. Acesso em: 21 abr. 2020.

PECTIN MARKET SIZE, SHARE & TRENDS ANALYSIS REPORT BY SOURCES. **Grand View Research**. 2017. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/pectin-market>. Acesso em: 14 jun. 2020.

PFALTZGRAFF, Lucie Anne. **The study & development of an integrated & additive-free waste orange peel biorefinery**. Heslington, 2014. 266 p. Tese () - University Of York Chemistry. Disponível em: <http://etheses.whiterose.ac.uk/7605/1/TO%20PRINT%20Thesis%20PhD%20L.%20Pfaltzgraff%205.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2020.

POURBAFRANI, Mohammad et al. Production of biofuels, limonene and pectin from citrus wastes. **Bioresource Technology**, v. 101, 2010.

PURWADI, Ronny; BRANDBERG, Tomas; J. TAHERZADEH, Mohammad. A possible industrial solution to ferment lignocellulosic hydrolyzate to ethanol: continuous cultivation with flocculating yeast. **International Journal of Molecular Sciences**, p. 920-932, 3 set. 2007.

PÉREZ MARÍN, A.B. et al. Biosorption of chromium (III) by orange (*Citrus cinensis*) waste: Batch and continuous studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 155, 2009.

R. BIZZO, Humberto; C. HOVELL, Ana Maria; M. REZENDE, Claudia. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

RESEARCH AND MARKETS. **The "Orange Market - Growth, Trends and Forecasts (2019 - 2024)". GLOBE NEWSWIRE**. Dublin, 2019. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/10/17/1931008/0/en/Global-Orange-Market-Analysis-Report-2019-2024-Brazil-to-Drive-the-Global-Orange-Demand-Trend.html>. Acesso em: 9 fev. 2020.

REZZADORI, K.; BENEDETTI, S.; AMANTE, E.R. Proposals for the residues recovery: Orange waste as raw material for new products. **Food and Bioproducts Processing**, Florianópolis, n. 90, p. 606, 2012.

REZENDE, Ricardo. Métodos de Payback - Adaptado de Avaliação de Projetos de Invest., J.C. Lapponi. 2000. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/6852/material/03%20-%20Payback.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2020.

RUTKOWSKI, P. Pyrolysis of cellulose, xylan and lignin with the K₂CO₃ and ZnCl₂ addition for bio-oil production. **Fuel Processing Technology**, v. 92, 2011.

SANTOS, BRUNNA DA SILVA; PATTO, Natália; TAVARES, THAIS DUARTE. **EXPORTAÇÃO DE SUCO DE LARANJA PELO PORTO DE SANTOS**. Guarulhos - SP, 2019. 10 p. Trabalho de Disciplina () - X Fateclog Logística 4.0 & a Sociedade do Conhecimento Fatec Guarulhos.

SHARMA, Kavita et al. Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmently friendly approaches. **Nutrition**, Republic of Korea, n. 34, p. 29, 2017.

SIERRA, Rocio et al. Producing Fuels and Chemicals from Lignocellulosic Biomass. **Chemical Engineering Progress**, 2008.

STRATEGIC CFO. **Labor Costs**. The Strategic CFO. Houston, 2020. Disponível em: <https://strategiccfo.com/labor-costs/>. Acesso em: 1 nov. 2020.

STREZOV, Vladimir; EVANS, Tim; HAYMAN, Chris. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. **Bioresource Technology**, v. 99, 2008.

TOWLER, Gavin; SINNOTT, Ray. **Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design**. 2. ed. Elsevier, 2013.

WILKINS, Mark R; SURYAWATI, Lilis; MANESS, Niels O. Ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* and *Kluyveromyces marxianus* in the presence of orange-peel oil. **World J Microbiol Biotechnol**, v. 23, p. 1161–1168, 07 jan 2007.

XU, Cangsu et al. Explosion characteristics of hydrous bio-ethanol in oxygen-enriched air. **Fuel**, v. 271, 2020.

YANG, Yanli ; ZHANG, Peidong; LI, Guangquan . Regional differentiation of biogas industrial development in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, 2012.

ZACHER, Alan H. et al. Technology advancements in hydroprocessing of bio-oils. **Biomass and Bioenergy**, v. 125, 2019.

ANEXO A — DEMONSTRATIVO DE RESULTADO EM EXERCÍCIO – CENÁRIO 2

CAPACIDADE INSTALADA: 200.000 TON/ANO	ANO DE OPERAÇÃO							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Receita Operacional Líquida	-	-	US\$ 4.048.800	US\$ 9.447.200	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000
(-) Custos Variáveis	-	-	US\$ 607.505	US\$ 1.417.512	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986
Matéria-Prima	-	-	US\$ 480.000	US\$ 1.120.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000
Utilidades	-	-	US\$ 89.254	US\$ 208.258	US\$ 297.512	US\$ 297.512	US\$ 297.512	US\$ 297.512
Consumíveis	-	-	US\$ 38.252	US\$ 89.254	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474
(-) Custos Fixos	-	-	US\$ 2.130.683	US\$ 2.184.667	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155
Mão-de-obra	-	-	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	-	-	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993
Seguro	-	-	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118
Despesas Operacionais	-	-	US\$ 383.516	US\$ 437.500	US\$ 477.988	US\$ 477.988	US\$ 477.988	US\$ 477.988
(=) Lucro Operacional (EBITDA)	-	-	US\$ 1.310.612	US\$ 5.845.021	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859
(-) Depreciação	-	-	US\$ 2.321.180	US\$ 2.321.180	US\$ 2.321.180	US\$ 2.321.180	US\$ 2.321.180	US\$ 2.321.180
(=) Lucro Bruto (EBIT)	-	-	-US\$ 1.010.568	US\$ 3.523.841	US\$ 6.564.679	US\$ 6.564.679	US\$ 6.564.679	US\$ 6.564.679
(-) Imposto de Renda	-	-	-	US\$ 1.198.106	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991
(=) Lucro Líquido	-	-	-US\$ 1.010.568	US\$ 2.325.735	US\$ 4.332.688	US\$ 4.332.688	US\$ 4.332.688	US\$ 4.332.688

ANEXO B — FLUXO DE CAIXA – CENÁRIO 2

CAPACIDADE INSTALADA: 200.000 TON/ANO	ANO DE OPERAÇÃO		CONSTRUÇÃO/OPERAÇÃO	OPERAÇÃO DA PLANTA	
	CONSTRUÇÃO DA PLANTA			3	4
	0	1	2		
(+)Entradas	US\$ -	US\$ -	US\$ 4.048.800	US\$ 9.447.200	US\$ 13.496.000
Receita Operacional Líquida	US\$ -	US\$ -	US\$ 4.048.800	US\$ 9.447.200	US\$ 13.496.000
Retorno Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
(-)Saídas	US\$ 9.052.603	US\$ 18.105.206	US\$ 8.773.257	US\$ 3.602.179	US\$ 4.610.141
Custos Totais de Produção	US\$ -	US\$ -	US\$ 2.738.188	US\$ 3.602.179	US\$ 4.610.141
Custos Variáveis	US\$ -	US\$ -	US\$ 607.505	US\$ 1.417.512	US\$ 2.384.986
Matéria-Prima	US\$ -	US\$ -	US\$ 480.000	US\$ 1.120.000	US\$ 1.600.000
Utilidades	US\$ -	US\$ -	US\$ 89.254	US\$ 208.258	US\$ 297.512
Consumíveis	US\$ -	US\$ -	US\$ 38.252	US\$ 89.254	US\$ 487.474
Custos Fixos	US\$ -	US\$ -	US\$ 2.130.683	US\$ 2.184.667	US\$ 2.225.155
Mão de Obra	US\$ -	US\$ -	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	US\$ -	US\$ -	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993
Seguro	US\$ -	US\$ -	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118
Despesas Operacionais	US\$ -	US\$ -	US\$ 383.516	US\$ 437.500	US\$ 477.988
Investimento Total (Fixo + Capital de Giro)	US\$ 9.052.603	US\$ 18.105.206	US\$ 6.035.069	US\$ -	US\$ -
Investimento Fixo (CAPEX)	US\$ 9.052.603	US\$ 18.105.206	US\$ 3.017.534	US\$ -	US\$ -
ISBL	US\$ 4.973.958	US\$ 9.947.915	US\$ 1.657.986	US\$ -	US\$ -
OSBL	US\$ 1.989.583	US\$ 3.979.166	US\$ 663.194	US\$ -	US\$ -
Custos de Engenharia	US\$ 1.392.708	US\$ 2.785.417	US\$ 464.236	US\$ -	US\$ -
Encargos de Contingência	US\$ 696.354	US\$ 1.392.708	US\$ 232.118	US\$ -	US\$ -
Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ 3.017.534	US\$ -	US\$ -
Lucro Bruto	-US\$ 9.052.603	-US\$ 18.105.206	-US\$ 4.724.457	US\$ 5.845.021	US\$ 8.885.859
(-)Imposto de Renda	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ 1.198.106	US\$ 2.231.991
Geração Anual de Caixa	-US\$ 9.052.603,20	-US\$ 18.105.206,40	-US\$ 4.724.456,90	US\$ 4.646.915,23	US\$ 6.653.868,24

ANEXO B — CONTINUAÇÃO - FLUXO DE CAIXA – CENÁRIO 2

CAPACIDADE INSTALADA: 200.000 TON/ANO	OPERAÇÃO DA PLANTA				
	5	6	7	8	9
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
(+)Entradas	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000
Receita Operacional Líquida	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000
Retorno Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
(-)Saídas	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141
Custos Totais de Produção	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141
Custos Variáveis	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986
Matéria-Prima	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000
Utilidades	US\$ 297.512	US\$ 297.512	US\$ 297.512	US\$ 297.512	US\$ 297.512
Consumíveis	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474
Custos Fixos	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155
Mão de Obra	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993
Seguro	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118
Despesas Operacionais	US\$ 477.988	US\$ 477.988	US\$ 477.988	US\$ 477.988	US\$ 477.988
Investimento Total (Fixo + Capital de Giro)	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Investimento Fixo (CAPEX)	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
ISBL	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
OSBL	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Custos de Engenharia	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Encargos de Contingência	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Lucro Bruto	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859
(-)Imposto de Renda	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991
Geração Anual de Caixa	US\$ 6.653.868,24	US\$ 6.653.868,24	US\$ 6.653.868,24	US\$ 6.653.868,24	US\$ 6.653.868,24

ANEXO B — CONTINUAÇÃO - FLUXO DE CAIXA – CENÁRIO 2

CAPACIDADE INSTALADA: 200.000 TON/ANO	OPERAÇÃO DA PLANTA				
	10	11	12	13	14
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
(+)Entradas	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 16.513.534
Receita Operacional Líquida	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000	US\$ 13.496.000
Retorno Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ 3.017.534
(-)Saídas	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141
Custos Totais de Produção	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141	US\$ 4.610.141
Custos Variáveis	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986	US\$ 2.384.986
Matéria-Prima	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000	US\$ 1.600.000
Utilidades	US\$ 297.512	US\$ 297.512	US\$ 297.512	US\$ 297.512	US\$ 297.512
Consumíveis	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474
Custos Fixos	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155	US\$ 2.225.155
Mão de Obra	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993	US\$ 828.993
Seguro	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118	US\$ 232.118
Despesas Operacionais	US\$ 477.988	US\$ 477.988	US\$ 477.988	US\$ 477.988	US\$ 477.988
Investimento Total (Fixo + Capital de Giro)	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Investimento Fixo (CAPEX)	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
ISBL	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
OSBL	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Custos de Engenharia	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Encargos de Contingência	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Lucro Bruto	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859	US\$ 8.885.859	US\$ 11.903.393
(-)Imposto de Renda	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991	US\$ 2.231.991
Geração Anual de Caixa	US\$ 6.653.868,24	US\$ 6.653.868,24	US\$ 6.653.868,24	US\$ 6.653.868,24	US\$ 9.671.402,64

ANEXO A — DEMONSTRATIVO DE RESULTADO EM EXERCÍCIO – CENÁRIO 3

CAPACIDADE INSTALADA: 400.000 TON/ANO	ANO DE OPERAÇÃO							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Receita Operacional Líquida	-	-	US\$ 8.097.600	US\$ 18.894.400	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000
(-) Custos Variáveis	-	-	US\$ 1.168.917	US\$ 2.727.474	US\$ 3.896.391	US\$ 3.896.391	US\$ 3.896.391	US\$ 3.896.391
Matéria-Prima	-	-	US\$ 960.000	US\$ 2.240.000	US\$ 3.200.000	US\$ 3.200.000	US\$ 3.200.000	US\$ 3.200.000
Utilidades	-	-	US\$ 146.242	US\$ 341.232	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474
Consumíveis	-	-	US\$ 62.675	US\$ 146.242	US\$ 208.917	US\$ 208.917	US\$ 208.917	US\$ 208.917
(-) Custos Fixos	-	-	US\$ 2.878.578	US\$ 2.986.546	US\$ 3.067.522	US\$ 3.067.522	US\$ 3.067.522	US\$ 3.067.522
Mão-de-obra	-	-	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	-	-	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655
Seguro	-	-	US\$ 386.863	US\$ 386.863	US\$ 386.863	US\$ 386.863	US\$ 386.863	US\$ 386.863
Despesas Operacionais	-	-	US\$ 424.004	US\$ 531.972	US\$ 612.948	US\$ 612.948	US\$ 612.948	US\$ 612.948
(=) Lucro Operacional (EBITDA)	-	-	US\$ 4.050.105	US\$ 13.180.380	US\$ 20.028.087	US\$ 20.028.087	US\$ 20.028.087	US\$ 20.028.087
(-) Depreciação	-	-	US\$ 3.868.634	US\$ 3.868.634	US\$ 3.868.634	US\$ 3.868.634	US\$ 3.868.634	US\$ 3.868.634
(=) Lucro Bruto (EBIT)	-	-	US\$ 181.471	US\$ 9.311.746	US\$ 16.159.453	US\$ 16.159.453	US\$ 16.159.453	US\$ 16.159.453
(-) Imposto de Renda	-	-	US\$ 61.700	US\$ 3.165.994	US\$ 5.494.214	US\$ 5.494.214	US\$ 5.494.214	US\$ 5.494.214
(=) Lucro Líquido	-	-	US\$ 181.471	US\$ 6.145.753	US\$ 10.665.239	US\$ 10.665.239	US\$ 10.665.239	US\$ 10.665.239

ANEXO B — FLUXO DE CAIXA – CENÁRIO 3

CAPACIDADE INSTALADA: 400.000 TON/ANO	ANO DE OPERAÇÃO		CONSTRUÇÃO/OPERAÇÃO	OPERAÇÃO DA PLANTA	
	CONSTRUÇÃO DA PLANTA			3	4
	0	1	2		
(+)Entradas	US\$ -	US\$ -	US\$ 8.097.600	US\$ 18.894.400	US\$ 26.992.000
Receita Operacional Líquida	US\$ -	US\$ -	US\$ 8.097.600	US\$ 18.894.400	US\$ 26.992.000
Retorno Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
(-)Saídas	US\$ 15.087.672	US\$ 30.175.345	US\$ 14.105.943	US\$ 5.714.020	US\$ 6.963.913
Custos Totais de Produção	US\$ -	US\$ -	US\$ 4.047.495	US\$ 5.714.020	US\$ 6.963.913
Custos Variáveis	US\$ -	US\$ -	US\$ 1.168.917	US\$ 2.727.474	US\$ 3.896.391
Matéria-Prima	US\$ -	US\$ -	US\$ 960.000	US\$ 2.240.000	US\$ 3.200.000
Utilidades	US\$ -	US\$ -	US\$ 146.242	US\$ 341.232	US\$ 487.474
Consumíveis	US\$ -	US\$ -	US\$ 62.675	US\$ 146.242	US\$ 208.917
Custos Fixos	US\$ -	US\$ -	US\$ 2.878.578	US\$ 2.986.546	US\$ 3.067.522
Mão de Obra	US\$ -	US\$ -	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	US\$ -	US\$ -	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655
Seguro	US\$ -	US\$ -	US\$ 386.863	US\$ 386.863	US\$ 386.863
Despesas Operacionais	US\$ -	US\$ -	US\$ 424.004	US\$ 531.972	US\$ 612.948
Investimento Total (Fixo + Capital de Giro)	US\$ 15.087.672	US\$ 30.175.345	US\$ 10.058.448	US\$ -	US\$ -
Investimento Fixo (CAPEX)	US\$ 15.087.672	US\$ 30.175.345	US\$ 5.029.224	US\$ -	US\$ -
ISBL	US\$ 8.289.930	US\$ 16.579.859	US\$ 2.763.310	US\$ -	US\$ -
OSBL	US\$ 3.315.972	US\$ 6.631.944	US\$ 1.105.324	US\$ -	US\$ -
Custos de Engenharia	US\$ 2.321.180	US\$ 4.642.361	US\$ 773.727	US\$ -	US\$ -
Encargos de Contingência	US\$ 1.160.590	US\$ 2.321.180	US\$ 386.863	US\$ -	US\$ -
Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ 5.029.224	US\$ -	US\$ -
Lucro Bruto	-US\$ 15.087.672	-US\$ 30.175.345	-US\$ 6.008.343	US\$ 13.180.380	US\$ 20.028.087
(-)Imposto de Renda	US\$ -	US\$ -	US\$ 61.700,09	US\$ 3.165.994	US\$ 5.494.214
Geração Anual de Caixa	-US\$ 15.087.672,30	-US\$ 30.175.344,60	-US\$ 6.070.043,49	US\$ 10.014.386,51	US\$ 14.533.872,93

ANEXO B — CONTINUAÇÃO - FLUXO DE CAIXA – CENÁRIO 3

CAPACIDADE INSTALADA: 400.000 TON/ANO	OPERAÇÃO DA PLANTA				
	5	6	7	8	9
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
(+)Entradas	26.992.000	26.992.000	26.992.000	26.992.000	26.992.000
Receita Operacional Líquida	26.992.000	26.992.000	26.992.000	26.992.000	26.992.000
Retorno Capital de Giro	-	-	-	-	-
(-)Saídas	6.963.913	6.963.913	6.963.913	6.963.913	6.963.913
Custos Totais de Produção	6.963.913	6.963.913	6.963.913	6.963.913	6.963.913
Custos Variáveis	3.896.391	3.896.391	3.896.391	3.896.391	3.896.391
Matéria-Prima	3.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000
Utilidades	487.474	487.474	487.474	487.474	487.474
Consumíveis	208.917	208.917	208.917	208.917	208.917
Custos Fixos	3.067.522	3.067.522	3.067.522	3.067.522	3.067.522
Mão de Obra	686.056	686.056	686.056	686.056	686.056
Manutenção	1.381.655	1.381.655	1.381.655	1.381.655	1.381.655
Seguro	386.863	386.863	386.863	386.863	386.863
Despesas Operacionais	612.948	612.948	612.948	612.948	612.948
Investimento Total (Fixo + Capital de Giro)	-	-	-	-	-
Investimento Fixo (CAPEX)	-	-	-	-	-
ISBL	-	-	-	-	-
OSBL	-	-	-	-	-
Custos de Engenharia	-	-	-	-	-
Encargos de Contingência	-	-	-	-	-
Capital de Giro	-	-	-	-	-
Lucro Bruto	20.028.087	20.028.087	20.028.087	20.028.087	20.028.087
(-)Imposto de Renda	5.494.214	5.494.214	5.494.214	5.494.214	5.494.214
Geração Anual de Caixa	14.533.872,93	14.533.872,93	14.533.872,93	14.533.872,93	14.533.872,93

ANEXO B — CONTINUAÇÃO - FLUXO DE CAIXA – CENÁRIO 3

CAPACIDADE INSTALADA: 400.000 TON/ANO	OPERAÇÃO DA PLANTA				
	10	11	12	13	14
(+)Entradas	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000	US\$ 32.021.224
Receita Operacional Líquida	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000	US\$ 26.992.000
Retorno Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ 5.029.224
(-)Saídas	US\$ 6.963.913	US\$ 6.963.913	US\$ 6.963.913	US\$ 6.963.913	US\$ 6.963.913
Custos Totais de Produção	US\$ 6.963.913	US\$ 6.963.913	US\$ 6.963.913	US\$ 6.963.913	US\$ 6.963.913
Custos Variáveis	US\$ 3.896.391	US\$ 3.896.391	US\$ 3.896.391	US\$ 3.896.391	US\$ 3.896.391
Matéria-Prima	US\$ 3.200.000	US\$ 3.200.000	US\$ 3.200.000	US\$ 3.200.000	US\$ 3.200.000
Utilidades	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474	US\$ 487.474
Consumíveis	US\$ 208.917	US\$ 208.917	US\$ 208.917	US\$ 208.917	US\$ 208.917
Custos Fixos	US\$ 3.067.522	US\$ 3.067.522	US\$ 3.067.522	US\$ 3.067.522	US\$ 3.067.522
Mão de Obra	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056	US\$ 686.056
Manutenção	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655	US\$ 1.381.655
Seguro	US\$ 386.863	US\$ 386.863	US\$ 386.863	US\$ 386.863	US\$ 386.863
Despesas Operacionais	US\$ 612.948	US\$ 612.948	US\$ 612.948	US\$ 612.948	US\$ 612.948
Investimento Total (Fixo + Capital de Giro)	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Investimento Fixo (CAPEX)	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
ISBL	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
OSBL	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Custos de Engenharia	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Encargos de Contingência	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Capital de Giro	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -	US\$ -
Lucro Bruto	US\$ 20.028.087	US\$ 20.028.087	US\$ 20.028.087	US\$ 20.028.087	US\$ 25.057.311
(-)Imposto de Renda	US\$ 5.494.214	US\$ 5.494.214	US\$ 5.494.214	US\$ 5.494.214	US\$ 5.494.214
Geração Anual de Caixa	US\$ 14.533.872,93	US\$ 14.533.872,93	US\$ 14.533.872,93	US\$ 14.533.872,93	US\$ 19.563.096,93

