

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

THAISE CRISTINA HESPANHOL PARRILHA COUTINHO

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO
DE SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ETANOL EVAPORADO NA
FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA EM DESTILARIA AUTÔNOMA.**

MARÍLIA
2015

THAISE CRISTINA HESPANHOL PARRILHA COUTINHO

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ETANOL EVAPORADO NA
FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA EM DESTILARIA AUTÔNOMA.

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Fabio Marciano Zafra

MARÍLIA
2015

COUTINHO, Thaise Cristina Hespanhol Parrilha.

Avaliação da Viabilidade Financeira da Implantação de Sistema de Recuperação de Etanol Evaporado na Fermentação Alcoólica em Destilaria Autônoma / Thaise Cristina Hespanhol Parrilha Coutinho. Orientador: Prof. Fabio Marciano Zafra. Marília, SP: [s.n.], 2015.

57f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, Marília, 2015.

1. Fermentação Alcoólica 2. Evaporação 3. Recuperação 4. Viabilidade Financeira.

CDD: 658.404



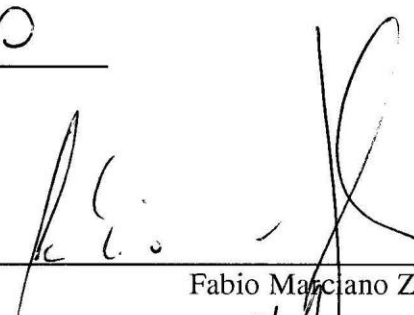
FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM
Curso de Engenharia de Produção.


Thaise Cristina Hespanhol Parrilha Coutinho - 46914-9

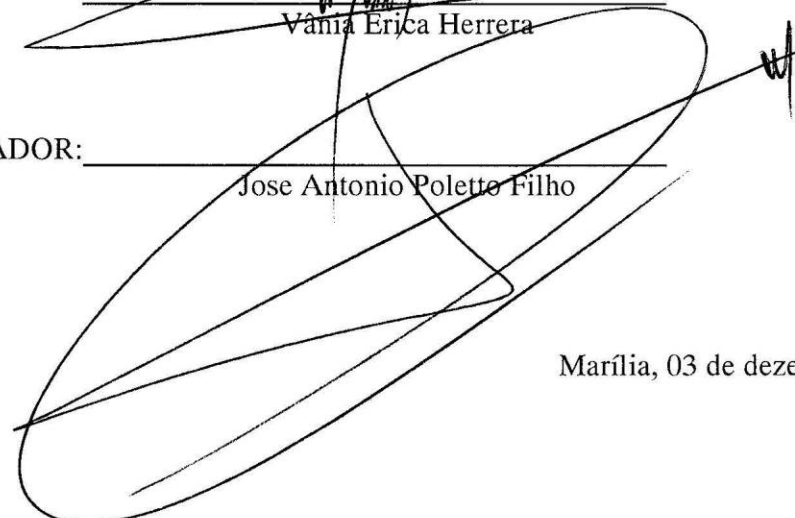
TÍTULO "Avaliação da Viabilidade Financeira da Implantação de Sistema de Recuperação de Etanol Evaporado na Fermentação Alcoólica em Destilaria Autônoma. "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 10,0

ORIENTADOR: 
Fabio Marciano Zafra

1º EXAMINADOR: 
Vânia Erica Herrera

2º EXAMINADOR: 
Jose Antonio Poletto Filho

Marília, 03 de dezembro de 2015.

A Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Aos meus pais João e Zélia, com muito amor, por saber o quanto dedicaram suas vidas a mim

e aos meus irmãos.

Ao Cleison, meu companheiro de todas as horas e meu grande amor,

com muito carinho,

DEDICO-LHES estas palavras de gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me dar coragem para lutar por meus objetivos e enfrentar as dificuldades encontradas durante esses cinco anos, pois, sem ele ao meu lado, nunca teria conseguido.

Ao meu esposo Cleison Faria Coutinho, que há treze anos me acompanha e foi muito importante durante esses cinco anos, me apoiando, incentivando e compartilhando dos momentos de desânimo e alegria, sempre com paciência.

À minha Mãe, Zélia Tereza Hespanhol Parrilha, e ao meu pai, João Parrilha, que sempre fizeram tudo por mim e me ensinaram a viver com dignidade, a amar e a respeitar, me dando força para realizar meus sonhos.

Aos meus irmãos, Nilson (em memória), Nilza, Tânia e Nivaldo, que estiveram presentes em todos os momentos de minha vida, sempre com muito carinho e dedicação, cuidando de mim como meus pais.

À empresa em que trabalho pelo apoio e incentivo recebido durante esses cinco anos.

Aos meus amigos da faculdade, em especial a Adeli, Anelise, Elson, Letícia, Leandro, Samanta e Thalita, que sempre estiveram presentes, contribuindo com seus conhecimentos e amizade.

Agradeço, também, ao meu orientador, Prof. Fábio Marciano Zafra, por sua dedicação, atenção e profissionalismo ao conduzir meu trabalho.

“Para um grande sonho tornar-se verdadeiro, a primeira condição é ter uma grande capacidade de sonhar; a segunda é a perseverança – a fé no sonho”.

Hans Selye, M. D

COUTINHO, Thaise Cristina Hespanhol Parrilha. Avaliação da viabilidade financeira da implantação de sistema de recuperação de etanol evaporado na fermentação alcoólica em destilaria autônoma. 2015. 57f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2015.

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade avaliar a viabilidade financeira de implantação do projeto de fechamento das dornas de fermentação e de coluna de recuperação do etanol evaporado na fermentação alcoólica, uma vez que, no processo analisado, a fermentação alcoólica ocorre em dornas abertas, causando perda de etanol por evaporação na ordem de 1 a 2% do etanol produzido. A implantação do projeto permite recuperar 0,72% do etanol evaporado, contribuindo para o aumento do rendimento industrial. Para levantar indicadores referentes ao processo produtivo, propor o projeto e avaliar a viabilidade financeira, foi realizado um estudo de caso de uma destilaria autônoma. Foi desenvolvida análise de viabilidade financeira, levando em consideração três cenários distintos, a saber: o primeiro, a utilização de capital próprio com horizonte de tempo de dez anos; o segundo, a utilização de capital próprio com horizonte de tempo de seis anos; e o terceiro, a utilização de 80 % do capital de terceiro com horizonte de tempo de seis anos. Para isso, foi proposto um estudo da viabilidade financeira por meio de fluxo de caixa, VPL, TIR e payback descontado. Como resultado, o terceiro cenário mostrou-se mais atrativo, apresentando VPL de R\$ 427.258,16, TIR de 114,58% e payback de um 1 e 5 meses.

Palavras-chave: Fermentação Alcoólica. Evaporação. Recuperação. Viabilidade Financeira.

COUTINHO, Thaise Cristina Hespanhol Parrilha. Avaliação da viabilidade financeira da implantação de sistema de recuperação de etanol evaporado na fermentação alcoólica em destilaria autônoma. 2015. 57f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2015.

ABSTRACT

This study aims to assess the financial viability of closing project implementation of fermentation vats and ethanol recovery column evaporated in alcoholic fermentation, as in the analyzed process the alcoholic fermentation takes place in open vats, causing loss of ethanol by evaporation in an amount from 1 to 2% of the produced ethanol. The implementation of the project allows you to recover 0.72% of the evaporated ethanol, contributing to an increase in the industrial output. To raise indicators related to the production process, proposing the project and assess the financial viability, a case study of an autonomous distillery was performed. A financial feasibility study taking into account three different scenarios was developed. The first one being the use of capital with a time horizon of ten years, according to the use of capital with a time horizon of six years and the third using 80 % of third part capital with a time horizon of six years. For this a study of the financial viability through cash flow was performed, as well as VPL, TIR and discounted payback. As a result, the third scenery was more attractive, with VPL of R\$ 427,258.16, TIR of 114.58% and payback of 1 and 5 months.

Keywords: Alcoholic Fermentation. Evaporation. Recovery. Financial Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificações de pesquisas	16
Figura 2 - Fluxograma produção do etanol	24
Figura 3 - Vista aérea da empresa	31
Figura 4 - Fluxograma geral do processo de produção do etanol atual.....	33
Figura 5 - Recepção da cana.....	34
Figura 6 - Descarregamento da cana-de-açúcar	35
Figura 7 - Filtro rotativo	35
Figura 8 - Anel de distribuição de mosto nas dornas de fermentação.....	36
Figura 9 - Fluxograma processo fermentação atual.....	37
Figura 10 - Dorna de fermentação aberta	38
Figura 11 - Fluxograma recuperação do etanol evaporado	41
Figura 12 - Fluxograma da fermentação após a implantação do projeto.....	42
Figura 13 - Fluxo de caixa nominal com capital próprio e horizonte de tempo de 10 anos.....	45
Figura 14 - Fluxo de caixa nominal com capital próprio e horizonte de tempo de 6 anos.....	45
Figura 15 - Fluxo de caixa descontado com capital próprio no horizonte de tempo de dez anos	46
Figura 16 - Fluxo de caixa descontado com capital próprio no horizonte de seis anos	46
Figura 17 - Fluxo de caixa descontado para capital de terceiro	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações EAC e EHC	20
Tabela 2 - Perdas percentuais de etanol por evaporação em função da temperatura e teor alcoólico do meio fermentativo	27
Tabela 3 - Configuração do processo fermentativo.....	38
Tabela 4 - Parâmetros médios referentes à Safra 2014/2015	39
Tabela 5 - Produção praticada, capacidade nominal e perdas	40
Tabela 6 - Produção praticada, capacidade nominal e perdas considerando a eficiência da coluna de recuperação de etanol.....	43
Tabela 7 - Investimento necessário para implantação do projeto.....	44
Tabela 8 - Indicadores de viabilidade financeira para capital próprio no horizonte de tempo de dez anos	47
Tabela 9 - Indicadores de viabilidade financeira para capital próprio no horizonte de tempo de seis anos.....	47
Tabela 10 - Simulação PROGER	48
Tabela 11 - Fluxo de caixa descontado – capital terceiro	49
Tabela 12 - Comparativo dos indicadores de viabilidade dos três cenários estudados	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP: Adenosina difosfato
ANP: Agência Nacional de Petróleo
ASTM: American Society for Testing and Materials
ATP: Adenosina trifosfato
ATR: Açúcar total recuperável
CO₂: Dióxido de carbono
C₆H₆O₂: Etanol
C₆H₁₂O₁₁: Sacarose
C₆H₁₂O₆: D-Glicose (glicose destrógira)
C₆H₁₂O₆: D-Frutose (frutose destrógira)
EA: Etanol anidro
EAC: Etanol anidro carburante
EH: Etanol hidratado
EHC: Etanol hidratado carburante
FC₀: Investimento inicial do projeto
FC_i: Fluxo de caixa do período
g: Grama
GL: Gay Lussac
H₂O: Água
INPM: Índice nacional de pesos e medidas
K: Taxa mínima de atratividade
Kcal: Quilocaloria
Kg: Quilograma
L: Litro
m³: Metro cúbico
m: Metro
mm: Milímetro
mg: Miligrama
Nº: Número
NBR: Norma Brasileira Regulamentadora
O₂: Oxigênio
PCTS: Pagamento de cana por teor de sacarose

Pi: Fosfato inorgânico

pH: Potencial hidrogeniônico

Próalcool: Programa Nacional do Álcool

Proger: Programa de Geração de Emprego e Renda

T (°C): Temperatura em graus Celsius

t: Período

TIR: Taxa interna de retorno

TJLP: Taxa de juro de longo prazo

VPL: Valor presente líquido

μS: Micro siemens

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Delimitação do Tema	14
1.2	Objetivo.....	14
1.3	Objetivos Específicos.....	15
1.4	Justificativa	15
1.5	Metodologia	16
1.6	Estrutura do Trabalho.....	17
2.	REVISÃO TEÓRICA	18
2.1	A Cana-de-Açúcar.....	18
2.2	O Etanol	19
2.3	Etanol no Brasil.....	20
2.4	O Processo de Produção do Etanol	22
2.5	Processo de Fermentação Alcoólica.....	25
2.6	Recuperação de Etanol Evaporado.....	26
2.7	Análise de Viabilidade Financeira em Projeto.....	27
2.7.1	Valor Presente Líquido – VPL.....	28
2.7.2	Payback	28
2.7.3	Taxa Interna de Retorno –TIR	29
3.	ESTUDO DE CASO	31
3.1	Apresentação da Empresa	31
3.2	Processo de Produção Atual.....	32
3.3	Processo de Produção Proposto	40
3.3.1	Coluna de Recuperação de Etanol – Lavagem de CO ₂	41
3.4	Incremento na Produção após Implantação do Projeto	42
4.	RESULTADOS.....	44
4.1	Custo de Implantação e Demonstração dos Indicadores para a Avaliação da Viabilidade Financeira do Projeto.....	44
5.	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento mundial está atrelado ao aumento da oferta energética, apontando a necessidade de investimentos em novas fontes de energia, principalmente as sustentáveis, as quais causam menor dano ao meio ambiente (NORDI, 2012).

O etanol é uma fonte de energia natural, limpa, renovável, sustentável e disponível, sendo uma alternativa de energia concreta e economicamente viável (TAVARES, 2009). O Brasil, na safra 2014/2015 atingiu a produção de 28 bilhões de litros de etanol, caracterizando-se como o segundo maior produtor e mercado consumidor do mundo, isso impulsionado pela frota de veículos flexfuel, que cresce na ordem de três milhões de novas unidades ao ano (ÚNICA, s.d).

O preço de venda do etanol é determinado pela relação de oferta e demanda estabelecida no mercado, fato que o caracteriza como uma commodity. Frente a isso, as unidades produtoras não têm autonomia sobre o preço de venda do etanol e, portanto, não conseguem repassar o custo de produção, mesmo quando este está acima do lucro obtido na venda.

O lucro na produção de etanol está intimamente relacionado aos custos de produção e à produtividade alcançados pela unidade produtora (SILVA, 2007). Uma vez assim, o desenvolvimento de melhores procedimentos tecnológicos na produção do etanol é fundamental para reduzir os custos e aumentar a produtividade.

Segundo Nordi (2012), o processo fermentativo é o principal método de obtenção do etanol. Na fermentação, os açúcares, substratos, presentes no caldo extraído da cana-de-açúcar (mosto) são metabolizados por um microrganismo (a levedura *Saccharomyce cerevisiae*), provocando a formação de etanol, metabólitos secundários como glicerol, succinato, acetato, lactato, acetona, álcoois superiores e, como subproduto, o gás carbônico (CO₂) (AMORIM, 1999).

A fermentação realiza-se, em geral, em tanques cilíndricos de grande capacidade e fundo cônico, conhecido como dornas. As unidades produtoras de etanol utilizam, em sua maioria, dornas de fermentação fechadas para evitar a perda do produto por evaporação (REBELATO, 2012).

Sobre a referida perda, esta se dá na ordem de 1,0 a 2,0% (nas dornas abertas) e ocorre devido à liberação de CO₂ para a atmosfera, arrastando parte do etanol presente no meio fermentativo (REBELATO, 2012); note-se que o percentual de etanol perdido por

evaporação depende de variáveis como teor alcoólico do mosto e temperatura de fermentação (PATERNINA, 2011 apud FORMAGGIO, 1990).

Sob outro prisma, nas dornas fechadas, o CO₂ desprendido é enviado, via tubulação, à torre de recuperação, onde acontece a lavagem dos gases em contracorrente com água (PATERNINA, 2011 apud FORMAGGIO, 1990). Tal processo permite a recuperação do etanol, contribuindo para o aumento do rendimento fermentativo e o consequente aumento do rendimento industrial.

Sintetizando, pois, as considerações anteriores, observa-se que, frente à importância do aumento da produtividade no processo de obtenção de etanol, dois procedimentos tornam-se indispensáveis a fim de que o processo possa ser otimizado: de um lado, o fechamento das dornas de fermentação; já de outro, a implantação de coluna para recuperação de etanol.

1.1 Delimitação do Tema

Partindo do princípio que, durante a fermentação alcoólica em dornas abertas, há liberação de CO₂ para a atmosfera, arrastando parte do etanol presente no meio fermentativo, esta pesquisa pretende analisar a viabilidade financeira de fechamento das dornas de fermentação, bem como a instalação de um sistema de lavagem de gases para recuperar o etanol perdido por evaporação.

Logo, a hipótese ora organizada se baseia no fato de que o projeto de implantação proposto é financeiramente viável, visto que melhora o rendimento fermentativo, contribuindo para o incremento de rendimento no processo como um todo. Além disso, para o projeto aqui apresentado, não é necessária a reestruturação da capacidade dos setores relacionados à fermentação, fator que facilita sua implantação tanto partindo do aspecto operacional como no que tange aos recursos financeiros.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral desta investigação é avaliar, por meio de um estudo de caso, a viabilidade financeira de implantação do projeto de fechamento das dornas de fermentação e da coluna de recuperação do etanol evaporado na fermentação alcoólica em uma destilaria autônoma, visando a obter o aumento do rendimento industrial na produção de etanol.

1.3 Objetivos Específicos

Além do intuito global, especificamente, o presente trabalho também busca:

- analisar o processo atual, buscando oportunidades de melhoria;
- utilizar as oportunidades encontradas para determinação do projeto;
- apresentar a proposta do projeto de fechamento das dornas e do sistema de recuperação do etanol evaporado na fermentação alcoólica;
- elaborar o estudo de viabilidade financeira do projeto proposto.

1.4 Justificativa

Na produção do etanol, a fermentação alcoólica é a etapa mais importante e crítica, pois a ela estão associadas inúmeras variáveis de processo que influenciam, diretamente, sua eficiência, devendo, por isso, ser cuidadosamente controlada. Além dessa vulnerabilidade natural do ambiente fermentativo, no processo analisado, as dornas de fermentação são abertas e não há sistema de recuperação do etanol evaporado, afetando a eficiência da fermentação pela perda de etanol por evaporação, isto na ordem de 1,0 a 2,0% da produção de etanol.

Importante salientar que a empresa em questão, na Safra 2014/2015, processou 204.000 toneladas de cana-de-açúcar, obtendo como produção 14.000 m³ de etanol, dos quais, a perda por evaporação (dada a fermentação em dornas abertas) representou 134,4 m³ do produto, o que equivaleu ao não faturamento de, nada menos, que R\$ 196.569,60. Diante disso, considerando a capacidade nominal de moagem, que é de 280.000 toneladas de cana-de-açúcar, a produção correspondente à Safra 2014/2015, tende a ser de 19.215 m³ de etanol; se, da mesma forma, levar-se em consideração a perda de 183 m³ de etanol por evaporação, nesse período, a diminuição dos lucros atingirá impressionantes R\$ 269.791,78.

Com o desenvolvimento desse trabalho, pretende-se, assim, reduzir a perda por evaporação e, conseqüentemente, contribuir para o incremento no faturamento da empresa, refletindo, portanto, na melhoria da eficiência e na redução do custo de produção.

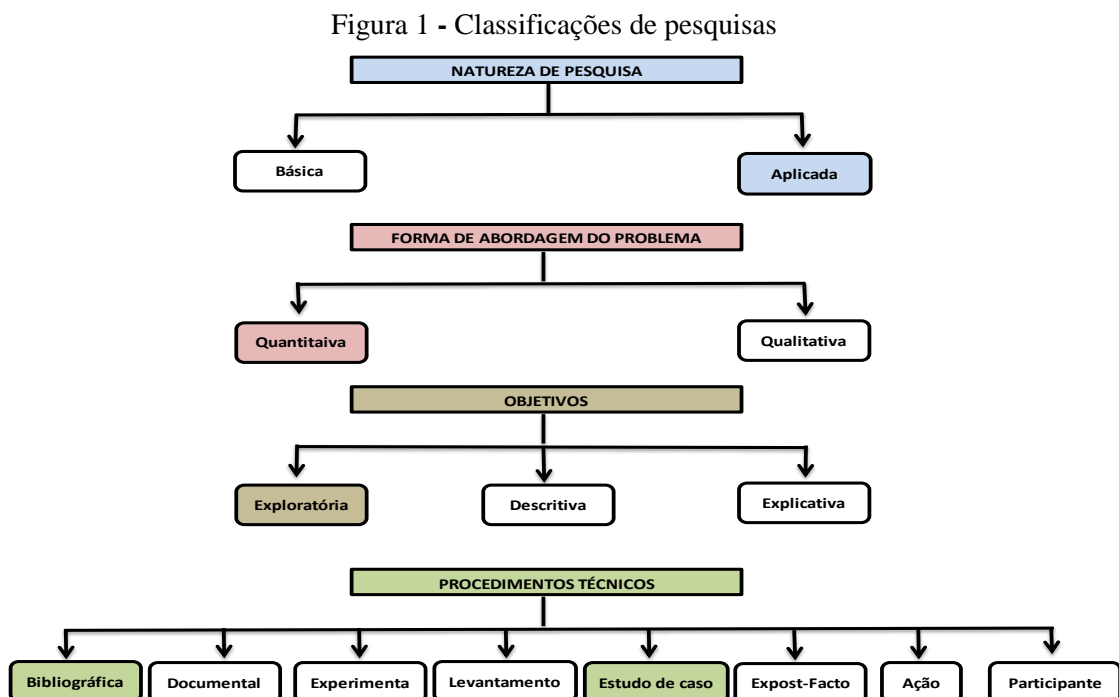
1.5 Metodologia

Esta pesquisa, de natureza aplicada, propõe-se, a partir da abordagem quantitativa de indicadores relativos ao processo produtivo, a gerar conhecimentos que podem ser aplicados para resolução do problema em questão (SILVA; MENEZES, 2005).

Com isso, classificar-se-á como um trabalho exploratório (conforme Figura 1), realizado no setor de fermentação de uma empresa produtora de etanol, localizada na região de Assis (SP). Por outro lado, também permite ser caracterizada como estudo de caso, sendo desenvolvido o levantamento de indicadores relacionados ao processo produtivo, como capacidade de produção, eficiência da fermentação, eficiência industrial, temperatura e teor alcoólico médio da fermentação, incluindo, ainda, indicadores financeiros, como custo de produção e preço de venda do etanol.

No desdobrar dos estudos, recorreu-se à pesquisa bibliográfica em livros, artigos, periódicos, dissertações e teses, todos referenciais associados ao tema “sistemas de fechamento das dornas de fermentação e lavagem de gases gerados na fermentação”.

Já para a análise da viabilidade financeira, foi elaborado fluxo de caixa nominal e descontado, com a determinação do valor presente líquido (VPL), da taxa interna de retorno (TIR) e do período de retorno de investimento (Payback). O valor total do investimento foi delimitado por meio de estudo, em conjunto, com uma empresa de engenharia especializada.



Fonte: Adaptado de Silva e Menezes (2005).

1.6 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está composto de cinco capítulos, contando-se desde esta Introdução até a Conclusão.

Seu Capítulo 1 apresenta a introdução, assim como a delimitação do tema, os objetivos, a justificativa, metodologia e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 contém uma revisão bibliográfica, abordando os principais conceitos relacionados à cadeia produtiva do etanol e as ferramentas utilizadas para análise da viabilidade financeira.

Já o Capítulo 3 desenvolve o estudo de caso, abordando a empresa analisada, seu processo atual e a identificação de oportunidade de melhoria nesse processo.

O Capítulo 4 deste estudo aborda o custo do projeto e a avaliação da viabilidade financeira do investimento para três cenários distintos, em relação à captação de recursos para o projeto de melhoria proposto.

Finalmente, o Capítulo 5 contempla a conclusão do estudo de caso, indicando os resultados e a viabilidade do projeto frente aos cenários apresentados quanto à captação de recursos para implantação do projeto.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 A Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar, planta semiperene, pertencente ao gênero *Saccharum*, da família das gramíneas, é proveniente de regiões temperadas quentes a tropicais da Ásia (BNDES, 2008). No Brasil, o plantio da cana-de-açúcar iniciou-se em São Paulo, no ano de 1522 (HAMERSKI, 2009).

A cana-de-açúcar aqui plantada é uma das culturas agrícolas mais tradicionais e importantes por ser fonte de renda e crescimento econômico, já que é a principal matéria-prima para fabricação de açúcar e etanol (CERVI, 2013). Seu cultivo para a produção industrial ocorre, basicamente, em sete Estados pertencentes às regiões Centro-Sul e Nordeste, o que permite ao país duas safras ao ano.

A área nacional destinada à produção da cana-de-açúcar na Safra 2012/2013 foi de 8811,43 mil hectares, destes o Estado de São Paulo participa como o maior produtor, sendo responsável por 51,7%; seguido por Goiás, com 9,3%; Minas Gerais, com 8,9%; Mato Grosso do Sul, com 7,4%; Paraná, com 6,7%; Alagoas, com 4,7%; e Pernambuco, com 3,2% (CONAB, 2013).

Em Rabelo (2010), a cana-de-açúcar é composta por partes subterrâneas (raízes e rizomas) e aéreas (colmos, folhas e flores); assim, é constituída de um sistema radicular, dos colmos, no qual a sacarose é predominantemente estocada e das folhas dispostas ao redor da cana, nos nódulos inter colmos e, também, na parte superior da planta, onde se localiza a gema apical (palmito).

A cana-de-açúcar se desenvolve na forma de touceira e a parte aérea é formada por colmos. Cada entrenó produz uma nova folha a cada dez dia, período em que também uma folha mais velha morre (ADORNA, 2011). Segundo Cristofolletti Júnior (2012), na fase inicial, perfilha abundantemente e, quando se estabelece como cultura, o autossombreamento induz à inibição do perfilhamento e aceleração do colmo principal. O crescimento do colmo em altura, fase vegetativa, continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, de baixas temperaturas ou, mesmo, devido ao florescimento. Terminada a fase vegetativa, tem-se a concentração dos açúcares redutores (glicose e frutose) presentes nos colmos, o que significa a formação da sacarose a partir desses açúcares; ou seja, a fase de maturação (NEVES, 2010).

A parte morfológica da cana-de-açúcar de interesse comercial é o colmo, que possui composição química extremamente variável em função de fatores como a variedade da cultura, idade fisiológica, condições climáticas durante o desenvolvimento e maturação, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, entre outros (HAMERSKI, 2009).

Sob o aspecto tecnológico, os colmos são constituídos de caldo e sólidos insolúveis em água (fibra da cana). O caldo é a porção que contém a água, ou seja, a umidade da cana e os sólidos solúveis totais, estes classificados em açúcares (sacarose, glicose e frutose) e não-açúcares orgânicos e não-açúcares inorgânicos (FERNANDES, 2003).

2.2 O Etanol

O etanol é um composto orgânico de fórmula molecular C_2H_6O , podendo ser utilizado para fins industriais e como combustível em motores de combustão interna com ignição por centelha, sendo esta sua maior aplicação (BNDES, 2008).

Em sua aplicação como combustível (carburante), o etanol está presente de forma pura, etanol hidratado carburante (EHC) ou misturado à gasolina, etanol anidro carburante (EAC). De acordo com Resolução ANP N° 19, o etanol anidro carburante deve apresentar teor alcoólico de, no mínimo, 99,3 °INPM (% massa) e, para o etanol hidratado carburante, o teor alcoólico deve estar na faixa de 92,5 a 94,6 °INPM (% massa), sendo tal a característica básica que os diferencia.

A Agência Nacional do Petróleo (ANP), órgão regulador das atividades que integram a indústria do petróleo, gás natural e dos biocombustíveis no Brasil, por meio da resolução N° 19, estabelece as especificações e os métodos de determinação das características do EHC e do EAC, bem como as obrigações a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Estas especificações são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações EAC e EHC

Característica	Unidade	Limite		Método	
		EAC	EHC	NBR	ASTM
Aspecto	-	Límpido e isento de impureza		Visual	
Cor	-	1	Incolor	Visual	
Acidez total máx.	mg/L	30		9866	-
Condutividade elétrica máx.	µS/m	300		10547	-
Massa específica a 20°C	Kg/m ³	791,5 máx.	805,2 a 811,2	5992 e 15639	D4052
Teor alcoólico	% volume	99,6 mín.	95,1 a 96,0	5992 e 15639	-
	% massa	99,3 mín.	92,5 a 94,6		
pH	-	-	6,0 a 8,0	10891	-
Teor de etanol, mín.	% volume	98	94,5	-	D5501
Teor de água, máx.	% volume	0,7	7,5	15531 e 15888	E203
Teor de metanol, máx.	% volume	0,5		16041	-
Goma lavada	mg/100mL	5		-	D381
Teor hidrocarbonetos, máx	% volume	3		13993	-
Teor cloretos, máx.	mg/kg	1		10894	D7328 D7319
Teor de sulfato, máx.	mg/kg	4		10894	D7328 D7319
Teor de ferro, máx.	mg/kg	5		11331	-
Teor de sódio, máx.	mg/kg	2		10422	-
Teor de cobre, máx.	mg/kg	0,07		11331	-
Teor de enxofre	mg/kg	Anotar		-	D5453 EN15489 EN15486 EN15837

(1) Laranja após adição de corante.

Fonte: Adaptado da Resolução ANP N°19.

2.3 Etanol no Brasil

O Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo e ocupa posição de liderança na tecnologia de sua produção, fruto de experiência adquirida (FAPESP, 2007). Os avanços tecnológicos adquiridos permitem que a produtividade seja destacada, assim como os custos de produção reduzidos em relação àqueles dos demais concorrentes internacionais.

O conhecimento do Brasil quanto à possibilidade de utilização do etanol como combustível data de 1925, época em que a gasolina importada e comercializada no Brasil era

abundante, barata e consumida em pequena escala, não havendo, portanto, interesse na exploração do etanol enquanto tal, como combustível (PORTO, 2005).

A grande crise internacional de 1929, porém, causou muitos prejuízos para a economia de todos os países, inclusive para a indústria açucareira no Brasil, que enfrentou dificuldades para aquisição de combustível líquido. Com objetivo de amenizar essa situação, o Governo Federal, em 1931, implantou a primeira destilaria de etanol anidro, estabelecendo, assim, a obrigatoriedade da mistura de 5% de etanol anidro à gasolina (PORTO, 2005).

Com objetivo de reduzir a importação de petróleo e oferecer um mercado alternativo ao açúcar, que passava por contratempos, foi criado, pelo Decreto 76.593/75, de 14 de novembro de 1975, o Próalcool (Programa Nacional do Álcool) (BASTOS, 2007). Por esse programa, o Governo incentivou fortemente, sob a forma de financiamentos e incentivos fiscais, o plantio da cana-de-açúcar e a instalação de destilarias autônomas (SHIKIDA, 1999).

Já na segunda fase do Próalcool, em 1979, houve a produção de álcool hidratado combustível e os motores dos automóveis começaram a ser preparados para receber esse novo combustível (STECKELBERG, 2001). A fim de incentivar o consumo de etanol hidratado, o preço do etanol foi fixado 65% abaixo do preço da gasolina em 1980; além disso, houve redução de impostos incidentes sobre a venda dos carros a álcool e aumentos dos impostos dos carros movidos à gasolina (BASTOS, 2007).

Nesse mesmo período, as instituições de pesquisa que tradicionalmente dedicavam seus estudos ao setor sucroalcooleiro reforçaram suas atividades no sentido de um maior entendimento do processo de fermentação alcoólica (ANDRIETTA, 2006).

No final da década de 80, a estabilização no preço internacional do petróleo em níveis inferiores ao que se previa e o aumento da cotação internacional do açúcar resultaram na queda da produção do etanol e na drástica redução de investimento de capital no setor alcooleiro, gerando problemas de abastecimento, pois a produção de carros movidos por etanol ainda continuava (ATALA, 2000). Isso resultou, então, na extinção do Próalcool.

Mais recentemente, no ano de 2003, foram desenvolvidos, no Brasil, carros com o sistema bicomcombustível (gasolina-álcool), genericamente chamado de Flex Fuel, o que voltou a alavancar a demanda por etanol combustível (PORTO, 2005).

O etanol produzido no País, a partir da cana-de-açúcar, apresenta alta relação entre energia produzida e energia fóssil consumida, podendo chegar ao índice 9; em contrapartida, essa mesma relação (energia produzida e energia fóssil), quando o etanol produzido deriva do milho, atinge uma média de 1,34 (PATERNINA, 2011). Dessa forma, o etanol da cana-de-açúcar demonstra enorme vantagem quanto à energia fóssil necessária para sua produção, o

que se torna bastante interessante frente às leis de proteção ambiental, como é o caso do Protocolo de Kyoto.

2.4 O Processo de Produção do Etanol

A produção do etanol inicia-se com a colheita da cana-de-açúcar, que, por sua vez, vem passando por processo de evolução, do sistema tradicional de colheita manual, de cana inteira, com queima prévia do canavial, para o sistema de colheita mecanizada, de cana picada e sem a queima (SANTOS, 2011). Tais adaptações aconteceram em função do cumprimento do Protocolo Agroambiental, que extinguiu para as áreas mecanizáveis a queima da cana-de-açúcar a partir de 2014 (CERVI, 2013).

Após o corte da cana-de-açúcar, esta é transportada até a unidade produtora para ser processada. No Brasil, a forma predominante de transporte deste produto é, habitualmente, com caminhões, que podem ser 1) *simples*, com apenas um reboque (para cargas de 15 toneladas), 2) do tipo “romeu e julieta”, com dois reboques acoplados ao caminhão (para cargas de 28 toneladas), 3) *treminhão*, ou seja, um conjunto “romeu e julieta” com um reboque acoplado (para cargas com 45 toneladas) ou 4) *rodotrem*, com mais de três reboques acoplados (para cargas de, aproximadamente, 58 toneladas) (CGEE, 2009).

Ao entrarem na unidade processadora, os caminhões são pesados em balanças rodoviárias e amostrados por sondas que perfuram a carga da matéria-prima e retiram uma amostra representativa, a partir da qual é determinada a qualidade da cana entregue. Dessa forma, é realizada a quantificação e qualificação da matéria-prima, procedimento este importante para o pagamento ao fornecedor e para determinação da eficiência industrial (SILVA, 2007).

Realizada a amostragem, a matéria-prima é descarregada diretamente na mesa alimentadora, ou em barracões de estocagem, via guindastes laterais móveis denominados hilo hidráulicos. Em seguida, a cana é conduzida da mesa alimentadora para uma esteira metálica, que irá transportá-la até os equipamentos de preparo, normalmente, compostos por dois conjuntos de facas rotativas e um desfibrador (CGEE, 2009). Esse procedimento permite a abertura das células, facilitando a extração dos açúcares presentes por processos de moagem ou difusão, este último menos utilizado no Brasil.

O processo de moagem consiste em passar a cana desfibrada entre dois rolos de moenda, proporcionando sua compressão e, conseqüentemente, a extração dos açúcares

presentes (SILVA, 2007). Esse processo é repetido de quatro a seis vezes, de acordo com o número de ternos de moenda, sendo que, a partir do segundo terno, é realizada a embebição mista (caldo mais água) para facilitar a extração dos açúcares.

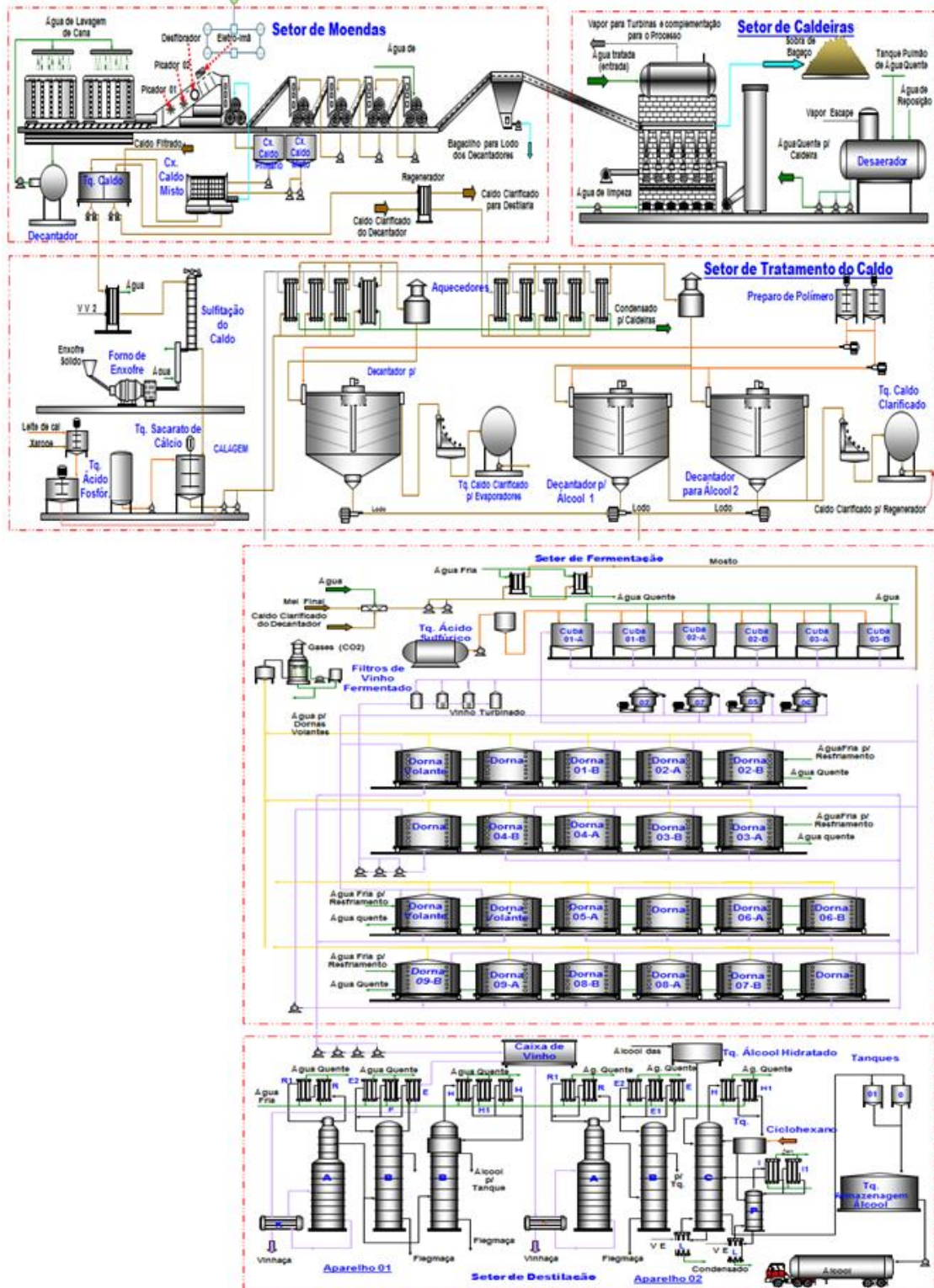
Do processo de moagem, resulta o bagaço, utilizado como combustível nas caldeiras para geração de vapor, e o caldo da cana, denominado de mosto, que é encaminhado ao processo de tratamento de caldo para ser purificado. Essa purificação consiste na remoção de impurezas dissolvidas e em suspensão, derivada do aquecimento do mosto e posterior decantação das impurezas presentes, obtendo, assim, um mosto claro e livre de impurezas (MARQUES, 2008).

O mosto tratado é enviado ao processo fermentativo, no qual as leveduras, por meio de reações bioquímicas, transformam o açúcar presente em etanol. O mosto fermentado é chamado de vinho e, após ser centrifugado para separação das leveduras, é enviado à coluna de destilação.

O processo de destilação, desde o aquecimento do mosto, tem por objetivo de separar o etanol produzido na fermentação dos demais componentes presentes no mosto, uma vez que estes componentes apresentam diferentes pontos de ebulição.

O fluxograma para produção do etanol está apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma produção do etanol



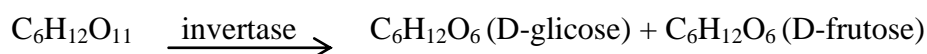
Fonte: Adaptado de UDOP, [s.d].

2.5 Processo de Fermentação Alcoólica

A fermentação alcoólica, principal forma de obtenção do etanol, é um processo bioquímico que envolve grande número de reações no sentido de promover a metabolização dos açúcares (substrato) presentes no meio fermentativo.

Tal metabolização se efetiva utilizando leveduras, organismos eucarióticos que formam uma das classes mais importantes dos fungos (STECKELBERG, 2001). A *Saccharomyces cerevisiae* é o gênero de levedura amplamente empregado na fermentação alcoólica por apresentar atividade em ambiente ácido, rápida transformação de açúcares em etanol e tolerância ao produto formado e a grandes variações de temperatura (ANDRIETTA, 2006).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é capaz de metabolizar apenas monossacarídeos e, por isso, possui a enzima invertase que hidrolisa os dissacarídeos, como, por exemplo, a sacarose ($C_6H_{12}O_{11}$), levando à formação dos monossacarídeos D-glicose (glicose dextrógira) e D-frutose (frutose dextrógira) (SOUZA, 2009). Para melhor visualização, segue aqui a reação de hidrólise:



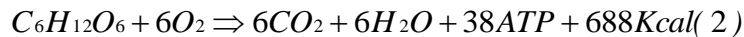
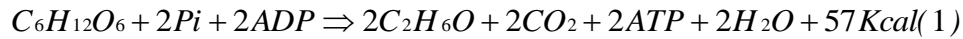
A hidrólise é uma reação extracelular, ou seja, a enzima invertase é liberada pela célula de levedura ao meio fermentativo, “quebrando” a molécula de sacarose; já os monossacarídeos obtidos são transportados ao interior da célula para serem, então, convertidos em moléculas menores.

A levedura metaboliza o açúcar com objetivo de perpetuar a espécie, uma vez que a energia química (ATP – adenosina trifosfato) disponibilizada, em anaerobiose, durante as reações de produção de etanol e gás carbônico, é necessária para a síntese de moléculas de levedura (manutenção e reprodução) (ALEXANDRINO, 2012 apud ANDRIETTA, 2010). Dessa forma, o etanol e o gás carbônico são apenas produtos de excreção do processo fermentativo, sem utilidade metabólica para a levedura.

Aprofundando mais a questão, de acordo com Carvalho (1996), aponta-se a existência de dois ciclos distintos que definem o processo de transformação de açúcares. O primeiro deles, denominado glicólise, tem a função de degradar a molécula de glicose até ácido pirúvico, seguindo uma série de reações catalisadas por enzimas específicas que se situam na parede celular e no interior da célula. Na ausência de oxigênio, há uma tendência

para a atuação das enzimas piruvato-descarboxilase e álcool-desidrogenase, produzindo etanol e água, a partir do piruvato. Contudo, na presença de oxigênio, há também um deslocamento reacional de parte do ácido pirúvico para o Ciclo de Krebs, em que será oxidado, enzimaticamente, a dióxido de carbono e água.

O balanço global dos dois ciclos pode ser resumido pelas equações de Gay-Lussac (equação 1) e Ciclo de Krebs (equação 2):



A reação da glicólise demonstra que 1 mol de glicose (180g) produz 2 moles de etanol (92 g), 2 moles de dióxido de carbono (88g) e 57 kcal de energia. Assim, o rendimento teórico da fermentação para a produção de etanol é de 0,511 g etanol/g sacarose (CARVALHO, 1996).

Segundo Amorim (1999), na prática, esse valor não é observado, pois uma quantidade significativa de açúcar não é transformada em etanol, sendo parte utilizada para a multiplicação do fermento na dorna, bem como para a formação dos carboidratos de reserva, produtos secundários como glicerol, succinato, acetato, lactato, acetona, álcoois superiores, entre outros.

2.6 Recuperação de Etanol Evaporado

No processo de metabolização dos açúcares disponíveis no meio fermentativo, ocorre produção de CO₂, que, nas dornas abertas, é liberado para a atmosfera. Nesse processo, a perda de etanol por evaporação pode variar de 1,0 a 2,0% do etanol presente no meio fermentativo (REBELATO, 2012).

O percentual de etanol perdido por evaporação depende de variáveis como teor alcoólico e temperatura do meio fermentativo (PATERNINA, 2011, apud FORMAGGIO, 1990). A Tabela 2 mostra que a perda percentual de etanol por evaporação aumenta à medida que a temperatura e/ou teor alcóolico (GL) do meio fermentativo aumentam.

Tabela 2 - Perdas percentuais de etanol por evaporação em função da temperatura e teor alcoólico do meio fermentativo

T (°C)	GL					
	6	7	8	9	10	11
30	0,80	0,91	1,01	1,11	1,16	1,21
31	0,85	0,96	1,07	1,17	1,24	1,31
32	0,90	1,01	1,13	1,24	1,32	1,41
33	0,96	1,06	1,19	1,30	1,39	1,49
34	1,01	1,11	1,25	1,37	1,47	1,58
35	1,06	1,16	1,29	1,43	1,55	1,68
36	1,12	1,24	1,37	1,52	1,65	1,79
37	1,18	1,31	1,44	1,61	1,75	1,90
38	1,24	1,39	1,52	1,69	1,84	2,00
39	1,30	1,41	1,59	1,78	1,94	2,11
40	1,36	1,54	1,67	1,87	2,04	2,22
41	1,44	1,63	1,77	1,98	2,15	2,33
42	1,51	1,71	1,87	2,08	2,26	2,46
43	1,59	1,80	1,96	2,19	2,36	2,55
44	1,66	1,88	2,06	2,29	2,47	2,67
45	1,74	1,97	2,16	2,40	2,58	2,77

Fonte: PATERNINA, 2011, apud FORMAGGIO, 1990.

A recuperação do etanol pode ser feita canalizando o CO₂ de dornas fechadas, juntamente com o etanol evaporado, para a torre de lavagem de recuperação do etanol, que, de sua parte, consiste em um equipamento em que o CO₂ é lavado em contracorrente com a água (REBELATO, 2012). Esta é, posteriormente, destilada para recuperação do etanol arrastado durante a lavagem.

2.7 Análise de Viabilidade Financeira em Projeto

O objetivo da análise de viabilidade financeira é determinar o nível de atratividade do projeto; em outras palavras, avaliar o custo do projeto em relação ao benefício financeiro por ele proporcionado (GALLARDO, 2011).

As decisões em relação aos novos investimentos são essenciais para definição do destino da organização e, por isso, devem ser tomadas a partir de informações minuciosamente analisadas, por meio de métodos que evidenciem os retornos financeiros sobre os investimentos (HOJI, 1999).

Os principais modelos de tomada de decisão, sob a ótica de conceitos técnicos, são payback simples, payback descontado, valor presente líquido e taxa interna de retorno (BORDEAUX-RÊGO, 2010).

2.7.1 Valor Presente Líquido – VPL

O VPL determina o valor presente dos fluxos de caixa gerados no horizonte de duração do projeto (ASSAF NETO, 2011).

O fluxo de caixa é formado por receitas e despesas descontadas juntamente com a taxa mínima de atratividade, que é definida, previamente, pela empresa (HOJI, 1999). Esse desconto transforma os fluxos de caixa futuros em valores presentes, pois os fluxos apenas podem ser comparados quando convertidos para valores de uma mesma época (SAMANEZ, 2009).

De acordo com Gitman (2005), o VPL é obtido pela seguinte fórmula:

$$VPL = \left[\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} \right] - FC_0$$

onde:

FC_0 = investimento inicial do projeto;

FC_t = fluxo de caixa no período;

K = taxa mínima de atratividade;

t = período.

Já em Bordeaux-Rêgo (2010), para decisão de rejeição ou aceitação de um projeto, os conceitos utilizados para o VPL são:

- VPL positivo: significa que o capital investido é recuperado e que sua remuneração supera a taxa mínima de atratividade da empresa e, portanto, o projeto deve ser aceito;
- VPL negativo: significa que o capital investido não é recuperado e, portanto, o projeto deve ser rejeitado; e
- VPL igual a zero: significa que o projeto atende à taxa de atratividade requerida, mas não acresce o valor da empresa.

2.7.2 Payback

Os períodos de payback consistem na determinação do tempo necessário para que o investimento seja recuperado com benefícios futuros de caixa, promovidos pelo investimento inicial (BORDEAUX-RÊGO, 2010). Tal indicador é aplicado como um indicativo de risco,

de forma que, quanto maior o payback, maior será o tempo para ter o retorno do investimento e, por isso, maior o risco associado ao projeto (SOUZA, 2014).

Segundo Gitman (2005), quando o retorno do investimento decorre de anuidades, ou seja, quando os fluxos de caixa são constantes, o período de payback pode ser calculado pela divisão do investimento inicial com a entrada anual de caixa. Levando em consideração a inconstância dos fluxos de caixa, as entradas anuais precisam ser acumuladas até que o investimento inicial seja recuperado.

Para melhor evidenciar a análise financeira, emprega-se o método do payback descontado, isto é, considera o dinheiro no tempo à mesma taxa do fluxo de caixa projetado (ASSAF, 2011).

O período máximo para ter o retorno do capital investido, denominado padrão-limite, é determinado pela administração da empresa. A comparação desse padrão-limite com o payback calculado é admitido como critério de decisão para aceitar ou rejeitar o investimento em questão (GITMAN, 2005).

2.7.3 Taxa Interna de Retorno –TIR

A TIR é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com seus respectivos retornos futuro; é a taxa de retorno de um projeto (ASSAF, 2011).

Para tomada de decisão, a taxa obtida deverá ser comparada com a taxa que representa o custo de capital da empresa e o projeto somente deverá ser aceito quando a sua taxa interna de retorno superar o custo de capital, significando que as aplicações da empresa estarão rendendo mais que o custo dos recursos usados na entidade como um todo (HOJI, 1999). Quando é necessário realizar a decisão entre projetos distintos adequando esse método de análise, a escolha é o investimento que apresenta a maior taxa de retorno (SOUZA, 2014).

Para Gitman (2005), a TIR é obtida pela seguinte fórmula:

$$\mathbf{VPL = 0 = Investimento Inicial + \left[\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right]}$$

onde:

FC_t = fluxo de caixa no período;

TIR = taxa interna de retorno.

Segundo Bordeaux-Rêgo (2010), para decisão de rejeição ou aceitação de um projeto, os conceitos utilizados para a TIR são:

- para custo de capital menor que a TIR, o projeto deve ser aceito;
- para custo de capital maior que a TIR, o projeto deve ser rejeitado; e
- para custo de capital igual à TIR, é indiferente aceitar ou não.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Apresentação da Empresa

O estudo de caso foi realizado em uma destilaria autônoma, Figura 3, localizada na região de Assis (SP). Sua capacidade nominal de processamento é 280.000 toneladas de cana-de-açúcar durante o período de Safra.

Figura 3 - Vista aérea da empresa



Fonte: Empresa analisada.

A destilaria em questão introduziu o corte mecanizado na Safra 2008/2009, tendo processado, naquele ano, mecanicamente, 35% da cana cortada; já na Safra 2014/2015, esse número passou para 100%.

Os produtos fabricados pela destilaria são o etanol hidratado e o etanol anidro, que são comercializados tanto para fins combustíveis (carburante) como para aplicações industriais (outros fins), como, por exemplo, produção de tintas, vernizes e para limpeza de peças.

Seja o processo produtivo de obtenção do etanol carburante ou para outros fins, ambos são, exatamente, iguais, pois a distinção que existe entre eles ocorre no momento de sua expedição para comercialização. Assim, o que difere o etanol hidratado carburante do etanol hidratado outros fins é a faixa de potencial hidrogeniônico (pH) requerida: o etanol hidratado carburante, segundo resolução ANP N°19, deve apresentar pH na faixa de 6,0 a 8,0, enquanto, para o etanol hidratado outros fins, não existe limite mínimo ou máximo quanto ao

parâmetro pH. A correção de pH do etanol hidratado carburante é feita adicionando produto específico no momento de sua expedição.

Quanto ao etanol anidro carburante ou anidro industrial, não há nenhuma especificação quanto às características químicas que os diferenciam. A distinção está em sua característica física, coloração especificamente, pois a resolução N°19 da ANP estabelece que deve ser adicionado 15 mg de corante laranja por litro de etanol anidro. O corante laranja é adicionado no momento da expedição do etanol anidro carburante; no caso do etanol anidro outros fins, é dispensável a adição de corante.

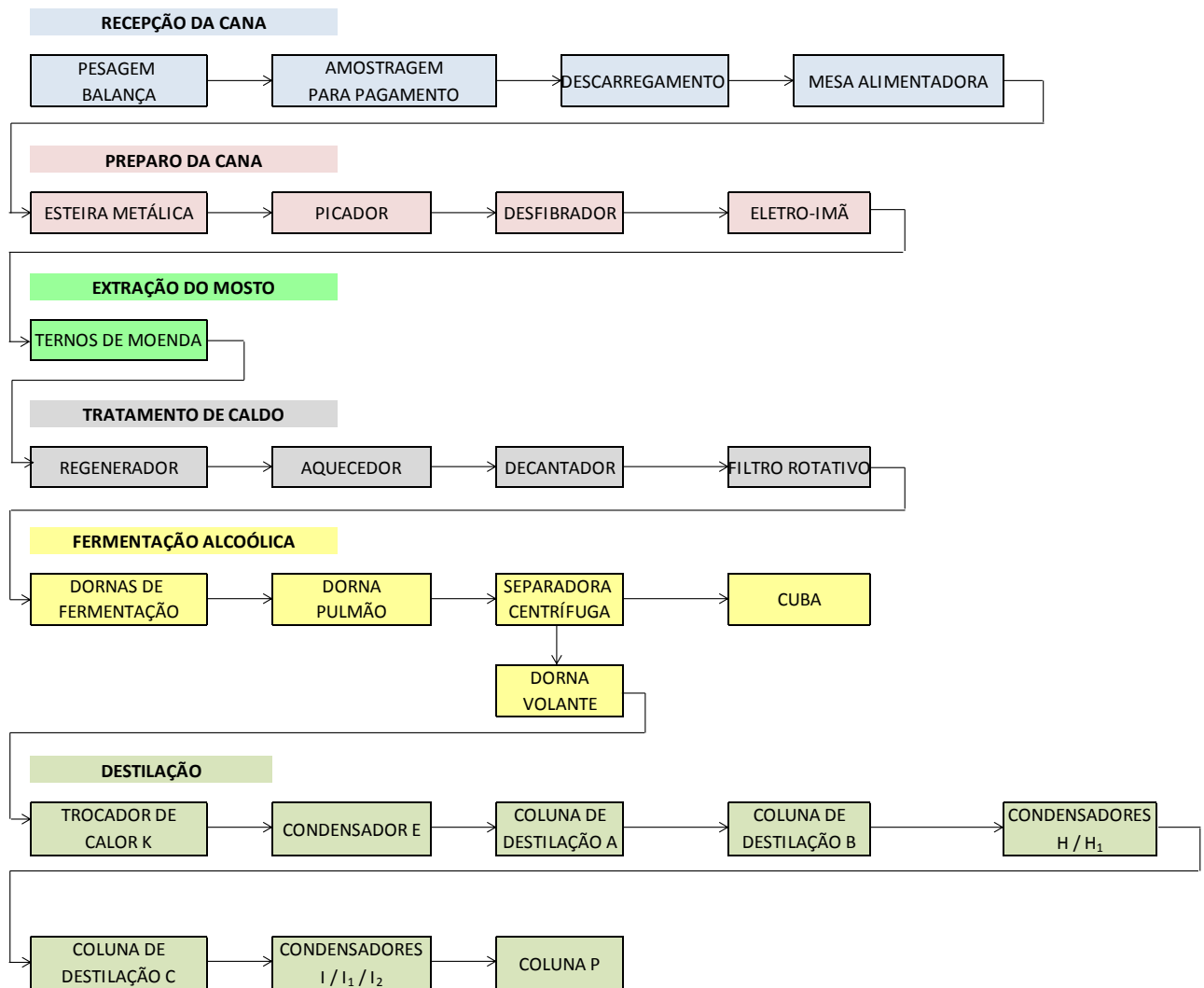
Tanto o etanol hidratado e anidro carburantes como o etanol hidratado e anidro outros fins são comercializados nacionalmente; contudo, o etanol hidratado e anidro carburantes atendem diretamente às distribuidoras de etanol, enquanto o etanol hidratado e anidro outros fins são direcionados, especialmente, à região sul do país, diretamente às indústrias.

Neste estudo de caso, foi realizada a avaliação do processo de produção atual da Empresa e a identificação da oportunidade de melhoria deste, especificamente no processo de fermentação alcoólica, que apresenta perda de etanol por evaporação nas dornas abertas. Foi proposto o projeto de fechamento das dornas e de implantação de coluna para recuperação do etanol evaporado. A partir disso, o custo do investimento foi obtido e sua viabilidade financeira foi avaliada para os cenários em que o capital é próprio e para aquele em que o capital é de terceiro.

3.2 Processo de Produção Atual

A produção de etanol é um processo que envolve inúmeras variáveis, com isso, apresenta certa complexidade. Para facilitar a compreensão, este estudo de caso decompôs o processo atual em setores, conforme Figura 4, sendo cada qual descrito de forma a permitir a identificação de oportunidade de melhoria.

Figura 4 - Fluxograma geral do processo de produção do etanol atual



Fonte: Próprio autor.

O processo inicia-se com o corte mecanizado da cana-de-açúcar, seu carregamento e o transporte até a unidade processadora. O transporte é realizado por caminhões contendo um ou dois reboques, os quais, ao chegar à unidade processadora, são pesados em balança rodoviária; na sequência, a carga é perfurada por sonda oblíqua, conforme Figura 5, a fim de que seja retirada uma amostra representativa da cana entregue. Essa amostra é encaminhada ao laboratório PCTS (pagamento de cana por teor de sacarose) para determinar a qualidade da matéria-prima, a partir da qual é realizado pagamento da cana ao fornecedor; em outros termos: determinar os quilos de açúcar total recuperável (ATR) existentes em uma tonelada da cana entregue que indicam o valor da carga. Logo, os quilos de ATR multiplicados pelo peso em toneladas da cana entregue e, também, pelo preço do quilo de ATR irão formar o total a ser pago ao fornecedor da cana.

Figura 5 - Recepção da cana



Fonte: Empresa analisada.

Tendo concluída a amostragem, o caminhão é liberado para efetuar o descarregamento e, de acordo com a Figura 6, seus reboques são basculados sobre a mesa alimentadora por meio de guindaste. Tal mesa dosa a cana, automaticamente, no Setor de Preparo, mais especificamente na esteira metálica, que irá conduzir a matéria-prima até o picador e o desfibrador, para promover a abertura das células. A cana, então desfibrada, passa pelo eletroímã para evitar que possíveis objetos metálicos existentes nela causem danos nos equipamentos seguintes.

A cana preparada é enviada ao primeiro terno de moenda, sendo esmagada na entrada e na saída de cada terno pelos rolos que os compõem. Esse processo é realizado por mais três vezes subsequentes até alcançar o quarto e último terno. Saliente-se que tal processo de extração se dá com a utilização de embebição mista (água e mosto), o que contribui para melhorar a extração do açúcar existente na cana.

Desse processo, resulta o bagaço da cana-de-açúcar e o mosto (caldo), que são enviados, respectivamente, para a caldeira e o tratamento de caldo.

Figura 6 - Descarregamento da cana-de-açúcar



Fonte: Empresa analisada.

No tratamento de caldo, o mosto enviado pelo Setor de Extração passa pelo regenerador, em contato direto, para que a temperatura aumente parcialmente, aproximadamente 60-65°C. Após isso, o mosto é encaminhado ao aquecedor tubular para elevar sua temperatura até 106°C, promovendo, assim, a eliminação da quase totalidade das bactérias existentes no mosto.

O mosto aquecido é enviado ao decantador para promover, com auxílio de polímero, a separação de impurezas minerais e vegetais existentes, principalmente a terra. As impurezas decantadas são encaminhadas ao tanque de lodo e, posteriormente, ao filtro rotativo, como demonstrado na Figura 7. Por outro lado, o mosto proveniente do decantador, chamado de caldo decantado, é enviado ao regenerador de contato direto para trocar calor com o mosto ainda não tratado; depois, o conteúdo é resfriado em trocador de calor a placas e, então, encaminhado à fermentação alcoólica.

Figura 7 - Filtro rotativo



Fonte: Empresa analisada.

No processo de fermentação alcoólica atual, o mosto proveniente do tratamento de caldo é alimentado nas dornas de fermentação abertas, via tubulação de inox construída na forma de anel de distribuição, atendendo a todas as dornas, conforme apresentado na Figura 8. Com essa configuração, o mosto circula, constantemente, em todo o anel e, por isso, não há pontos de acúmulo, contribuindo para a redução da contaminação bacteriana.

Figura 8 - Anel de distribuição de mosto nas dornas de fermentação



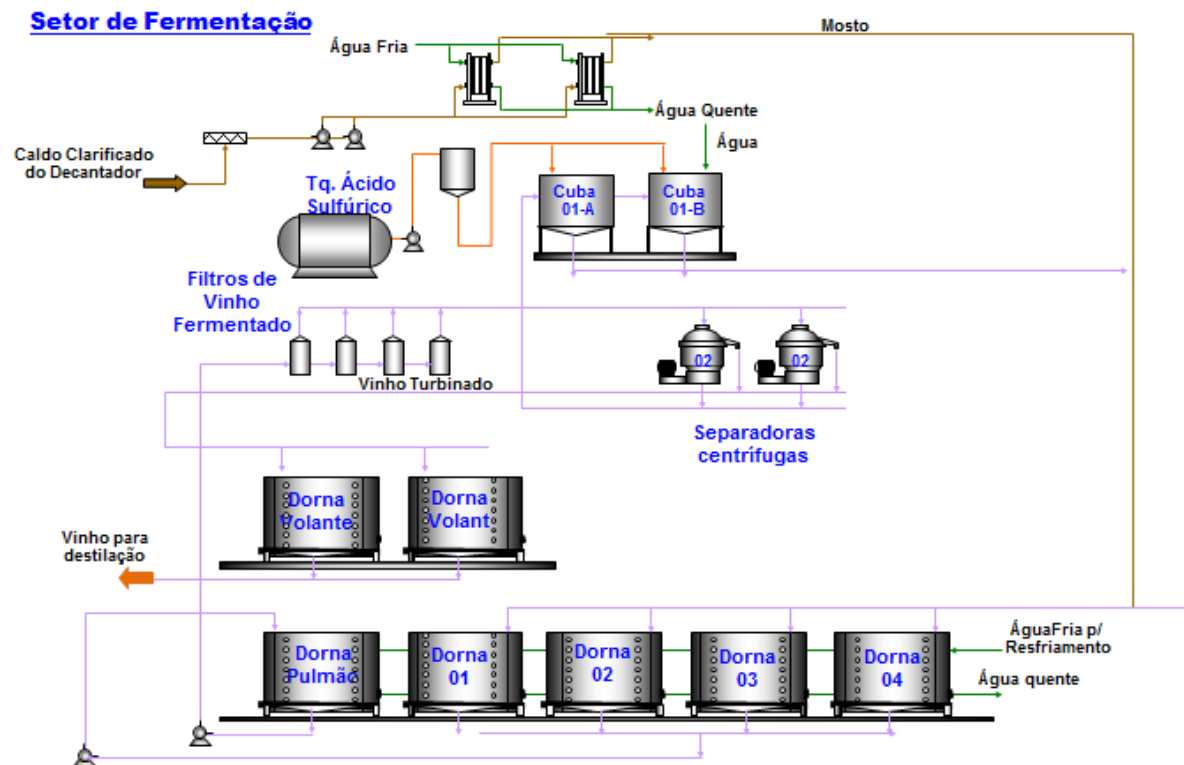
Fonte: Empresa analisada.

A fermentação é do tipo batelada alimentada: é adicionado à dorna de fermentação o creme de levedura em quantidade correspondente a 20% do volume da dorna e, sob este, o mosto é constantemente alimentado (adicionado), até que a dorna esteja com, aproximadamente, 90% de seu volume completo. Por meio de reações bioquímicas, a levedura metaboliza o açúcar existente no mosto e, como subproduto dessas reações, há formação do etanol e CO_2 , dentre outros compostos que não são de interesse.

Esse processo ocorre durante toda alimentação do mosto, proporcionando a redução do brix do meio fermentativo, de tal modo que, ao término da alimentação da dorna, o brix do meio fermentativo esteja próximo de 4. Terminada a alimentação, a dorna fica em processo fermentativo até que todo açúcar seja metabolizado, isto é, o brix do meio esteja zero. Após a conclusão da fermentação, o mosto fermentado, denominado de vinho leonado, é encaminhado à dorna pulmão, sendo, gradualmente, enviado à máquina separadora centrífuga, para separar o fermento do vinho, os quais serão direcionados, respectivamente, para cuba de tratamento e dorna volante. Nessas condições e a partir desse ponto, a batelada da dorna de fermentação em questão é, assim, concluída.

O fluxograma detalhado do processo de fermentação alcoólica descrito está representado na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma processo fermentação atual



Fonte: Adaptado de UDOP, [s.d].

Durante as reações bioquímicas, tem-se o aumento de temperatura do meio fermentativo, a qual é mantida entre 30 e 33 °C, com a utilização de trocador de calor a placa, havendo a troca de calor do meio fermentativo com água.

Na fermentação por batelada, o processo deve estar bem equilibrado para que sempre haja vinho de levedado para ser destilado e, ao mesmo tempo, para que o processo não fique com grande volume, o que poderia ocasionar parada na moagem por conta de falta de espaço na fermentação.

Considerando as quatro dornas de fermentação existentes, o processo fermentativo deve, assim, assumir uma configuração tal que as quatro dornas estejam em fases diferentes do processo, as quais incluem desde a alimentação do mosto até a centrifugação do vinho levedado, como se encontra na Tabela 3 seguinte.

Tabela 3 - Configuração do processo fermentativo

Configurações	Dornas de fermentação			
	Dorna 1	Dorna 2	Dorna 3	Dorna 4
Configuração 1	Alimentando	Em Espera	Centrifugando	Fermentando
Configuração 2	Fermentando	Alimentando	Em Espera	Centrifugando
Configuração 3	Centrifugando	Fermentando	Alimentando	Em Espera
Configuração 4	Em espera	Centrifugando	Fermentando	Alimentando
Configuração 5	Alimentando	Em Espera	Centrifugando	Fermentando

Fonte: Próprio autor.

No processo fermentativo em questão, as dornas são abertas, conforme Figura 10. Tratam-se de quatro dornas de fermentação, sendo 3 delas com diâmetro de 7150 mm e capacidade de 300 m³ e uma delas com diâmetro de 8020 mm e capacidade de 450m³; todas com trocadores de calor a placas individuais.

Figura 10 - Dorna de fermentação aberta



Fonte: Empresa Analisada.

Em função das dornas serem abertas, o CO₂ produzido durante a fermentação alcoólica é liberado para atmosfera, arrastando consigo parte do etanol existente no meio fermentativo.

A quantidade de etanol evaporado depende do teor alcoólico e da temperatura do meio fermentativo. Como descrito na Tabela 4, o teor alcoólico e a temperatura médios da fermentação alcoólica praticados na Safra 2014/2015 foram de 6,0 GL e 33°C, respectivamente. Comparando esses valores com a Tabela 1 abordada no item 2.6, verifica-se que, no processo atual, há perda de 0,96% de etanol por evaporação.

Tabela 4 - Parâmetros médios referentes à Safra 2014/2015

Pontos	Parâmetros	Resultados – média da Safra 2014/2015
levedura	viabilidade (%)	87,96
	brotamento (%)	11,57
	Infecção	7,97 x 10 ⁵
mosto	vazão (m ³)	70,00
	Brix	11,14
	temperatura (°c)	30,00
fermentação	temperatura (°c)	33,00
	tempo (h)	7,00
	gl (% volume/volume)	6,00

Fonte: Próprio autor.

A empresa em questão, na Safra 2014/2015, processou 204.000 toneladas de cana-de-açúcar, obtendo como produção 14.000 m³, sendo 10.000 m³ de etanol hidratado (71,43%) e 4.000 m³ de etanol anidro (28,57%). Considerando a perda por evaporação de 0,96% em relação à produção, na Safra 2014/2015, houve perda de 134,40 m³ de etanol por evaporação durante a fermentação nas dornas abertas, o que resultou no não faturamento de R\$196.569,60. A moagem praticada nessa Safra foi abaixo da capacidade nominal por conta da quebra da produtividade da lavoura, em virtude da falta de chuva durante o período vegetativo da cultura.

A Safra 2015/2016 não será analisada, pois, ainda, está em andamento, não havendo dados completos para serem tratados. A estimativa para a Safra 2015/2016, no entanto, é a de que a quantidade de cana-de-açúcar processada seja equivalente à capacidade nominal da indústria.

Considerando a capacidade nominal de moagem 280.000 toneladas de cana-de-açúcar, a produção correspondente à Safra 2014/2015 é de 19.215 m³ de etanol, sendo 13.725 m³ (71,43%) de etanol hidratado e 5.490 m³ (28,57%) de etanol anidro. Para essa produção, a perda de etanol por evaporação correspondeu a 184 m³ de etanol, representando uma perda de faturamento de R\$ 269.791,78. A Tabela 5 apresenta os valores ora discutidos.

Tabela 5 - Produção praticada, capacidade nominal e perdas

Variáveis	Safrá 2014/2015			Capacidade nominal		
	EH	EA	Total	EH	EA	Total
Moagem (t)	204.000			280.000		
Produção (m ³)	10.000	4.000	14.000	13.725	5.490	19.215
Produção (%)	71,43	28,57	100,00	71,43	28,57	100,00
Perda produção por evaporação (%)	0,96			0,96		
Perda produção por evaporação (m ³)	96,00	38,40	134,40	131,76	52,70	184,46
Preço médio etanol safra 2014/2015 (R\$/m ³)	R\$ 1.417,60	R\$ 1.575,00	R\$ 1.462,57	R\$ 1.417,60	R\$1.575,00	R\$ 1.462,57
Perda de faturamento devido à evaporação	R\$ 136.089,60	R\$ 60.480,00	R\$ 196.569,60	R\$ 186.782,98	R\$ 83.008,80	R\$ 269.791,78

Fonte: Próprio autor.

Considerando a capacidade nominal de processamento de cana-de-açúcar e a produção proporcional à praticada na Safra 2014/2015, isso significa que a empresa acumula perda de faturamento na ordem de R\$ 269.791,78.

Em vista de tão expressivos valores, reitera-se, pois, os propósitos da presente pesquisa voltados à identificação de uma oportunidade de melhoria na implantação do projeto de fechamento das dornas de fermentação e implantação de coluna para recuperação de etanol evaporado na fermentação alcoólica.

3.3 Processo de Produção Proposto

Como mencionado anteriormente, no processo de fermentação alcoólica, há liberação de CO₂ para a atmosfera, arrastando o etanol e causando, assim, a perda do mesmo por evaporação.

Para eliminar essa perda, é necessário fechar as dornas de fermentação e instalar uma coluna para recuperação de etanol, por meio da lavagem do CO₂.

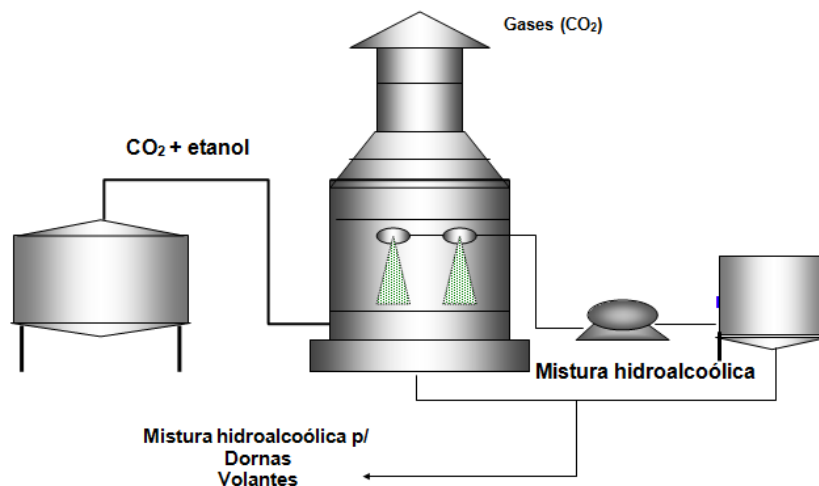
Portanto, o processo de produção proposto sugere modificações apenas na etapa da fermentação alcoólica, não incluindo alterações nos Setores de Moagem, Tratamento de Caldo e Destilação; nesses setores, o processo permanece como descrito no item 3.2.

3.3.1 Coluna de Recuperação de Etanol – Lavagem de CO₂

O CO₂ desprendido durante a fermentação alcoólica, arrastando etanol, é encaminhado por uma tubulação até a parte inferior da coluna de recuperação, conforme Figura 11. O CO₂, ao atravessar as bandejas, é lavado com água em contra corrente, a qual é alimentada na parte superior da coluna. Ao descer, a água é enriquecida em teor alcoólico, pois os vapores alcoólicos são condensados.

Para atingir um teor alcoólico mais elevado, em média um terço da água contendo teor alcoólico (mistura hidroalcoólica) é recirculada com uma bomba centrífuga de retirada de água do fundo, enquanto a outra parte da água é enviada à dorna volante para ser destilada e, então, recuperar o etanol. Os gases lavados (CO₂) são liberados para a atmosfera.

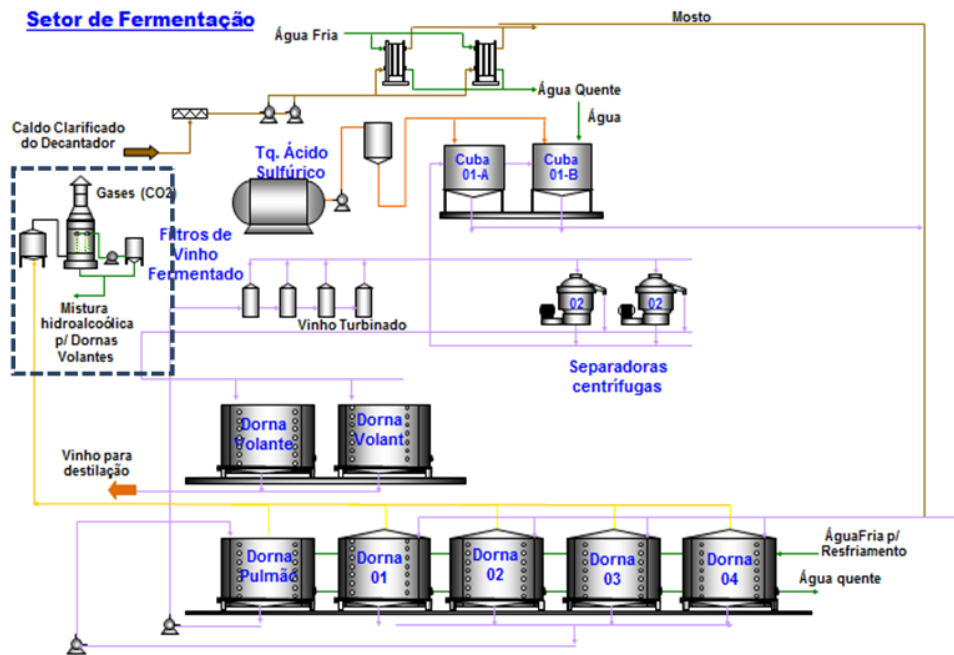
Figura 11 - Fluxograma recuperação do etanol evaporado



Fonte: Adaptado de UDOP, [s.d].

A Figura 12 corresponde ao fluxograma da fermentação alcoólica após o fechamento das dornas de fermentação e a introdução da coluna de recuperação de etanol evaporado.

Figura 12 - Fluxograma da fermentação após a implantação do projeto



Fonte: Adaptado de UDOP, [s.d].

3.4 Incremento na Produção após Implantação do Projeto

A coluna proposta para recuperação do etanol evaporado na fermentação em dornas abertas demonstra eficiência de 75%, ou seja, do etanol arrastado pelo CO₂, apenas 75% é recuperado.

Como discutido anteriormente, no processo atual, há perda por evaporação de 0,96% do etanol produzido, o que corresponde, para a capacidade nominal de moagem, a uma perda de faturamento de R\$ 269.791,78.

Levando em consideração a eficiência do equipamento, a recuperação efetiva do etanol evaporado é 0,72%, equivalendo a R\$ 202.343,83 em relação à capacidade nominal. A Tabela 6 apresenta os valores aqui discutidos.

Tabela 6 - Produção praticada, capacidade nominal e perdas considerando a eficiência da coluna de recuperação de etanol

Variáveis	Safrá 2014/2015			Capacidade nominal		
	EH	EA	Total	EH	EA	Total
Moagem (t)	204.000			280.000		
Produção (%)	71,43	28,47	100,00	71,43	28,47	100,00
Produção (m³)	10.000	4.000	14.000	13.725	5.490	19.215
Perda por evaporação (%)	0,96			0,96		
Perda por evaporação (m³)	96,00	38,40	134,4	131,76	52,70	184,46
Eficiência da coluna de recuperação (%)	75,00			75,00		
Recuperação efetiva (%)	0,72			0,72		
Recuperação efetiva (m³)	72,00	28,80	100,80	98,82	39,53	138,35
Preço médio etanol safra 2014/2015 (R\$/m³)	R\$1.417,60	R\$ 1.575,00	R\$1.462,57	R\$ 1.417,60	R\$ 1.575,00	R\$1462,57
Faturamento devido à recuperação	R\$ 102.067,20	R\$ 45.360,00	R\$ 147.427,20	R\$140.087,23	R\$62.256,60	R\$ 202.343,83

Fonte: Próprio autor.

4. RESULTADOS

4.1 Custo de Implantação e Demonstração dos Indicadores para a Avaliação da Viabilidade Financeira do Projeto

O custo do projeto de implantação da coluna de lavagem de CO₂ para recuperação do etanol evaporado e fechamento das dornas de fermentação foi determinado em conjunto com a empresa de engenharia Abraham Ltda., a partir do estudo do processo atual, levando em consideração sua capacidade, bem como as variáveis envolvidas. O resultado do estudo indicou que é necessário um investimento de R\$ 570.000,00, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Investimento necessário para implantação do projeto

Equipamentos e materiais	Custo (R\$)
Coluna recuperação etanol	80.000,00
Tubulações, válvulas, bombas e acessórios	40.000,00
Montagem coluna e acessórios	30.000,00
Material fechamento dornas	180.000,00
Montagem fechamento dornas	240.000,00
Total	570.000,00

Fonte: Empresa Abraham Ltda.

A avaliação da viabilidade financeira do projeto foi realizada considerando a capacidade nominal da indústria, pois, como já mencionado, a moagem reduzida praticada na Safra 2014/2015 foi consequência da redução da produtividade da lavoura e os dados da Safra 2015/2016 ainda não estão completos, a ponto de permitirem tratamento.

Desse modo, para a avaliação ora proposta, deve-se ponderar, como restrição estabelecida pela empresa estudada, que o período de retorno do investimento será, no máximo, de três anos.

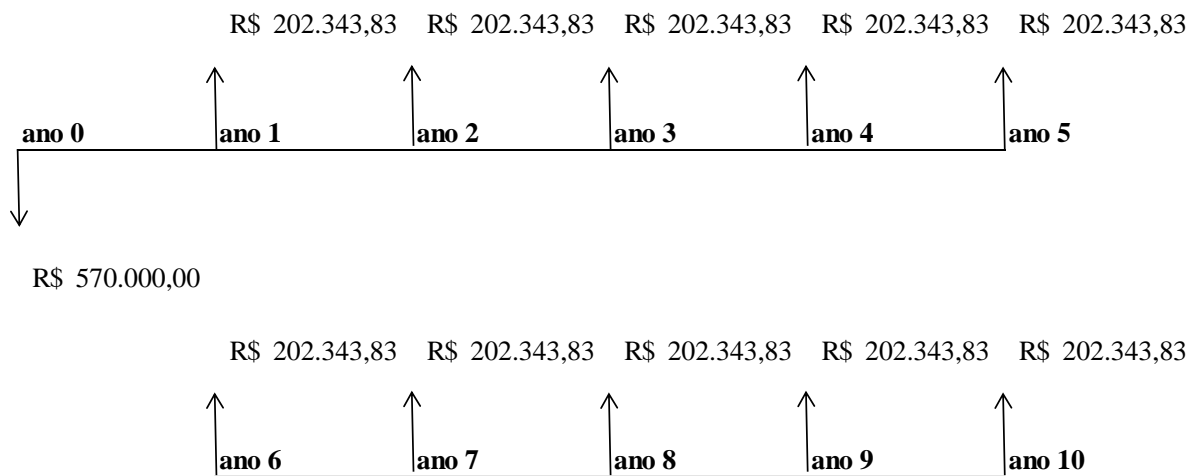
A partir da informação do investimento necessário, para avaliar a viabilidade do projeto, foi programado um fluxo de caixa para um horizonte de tempo de seis e dez anos, contemplando o investimento necessário, assim como a geração de caixa obtida por meio da recuperação do etanol evaporado na fermentação alcoólica.

Também foram utilizados métodos de avaliação de investimentos para a análise em questão, os quais puderam ser aplicados em três cenários distintos. O primeiro cenário levou em consideração investimento feito com recursos próprios no horizonte de tempo de dez anos; já o segundo cenário também considerou investimento com recursos próprios, mas com

horizonte de tempo de seis anos; e o terceiro cenário considerou 80% do capital necessário vindo de terceiro, com horizonte de tempo de seis anos.

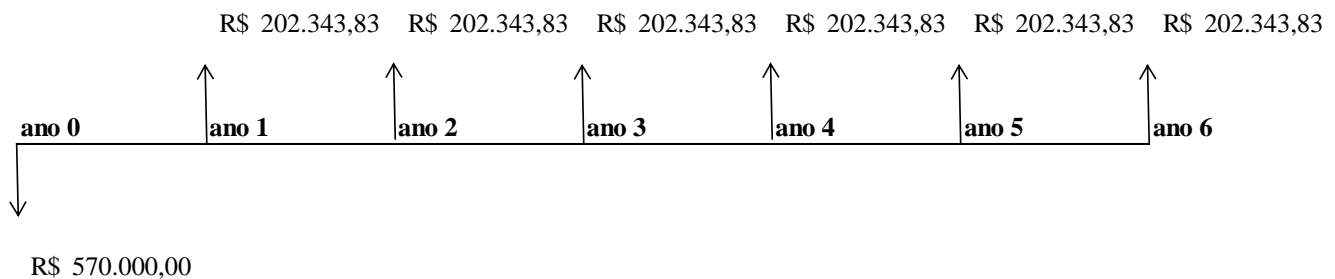
Para o primeiro e segundo cenários, capital próprio com horizonte de tempo de dez e seis anos, respectivamente, haverá, no ano zero, um investimento (saída do caixa) no valor de R\$ 570.000,00 e, nos anos seguintes, entradas anuais no caixa no valor de R\$ 202.343,83, como apresentado nos fluxos de caixa nominal das Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Fluxo de caixa nominal com capital próprio e horizonte de tempo de 10 anos



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 - Fluxo de caixa nominal com capital próprio e horizonte de tempo de 6 anos

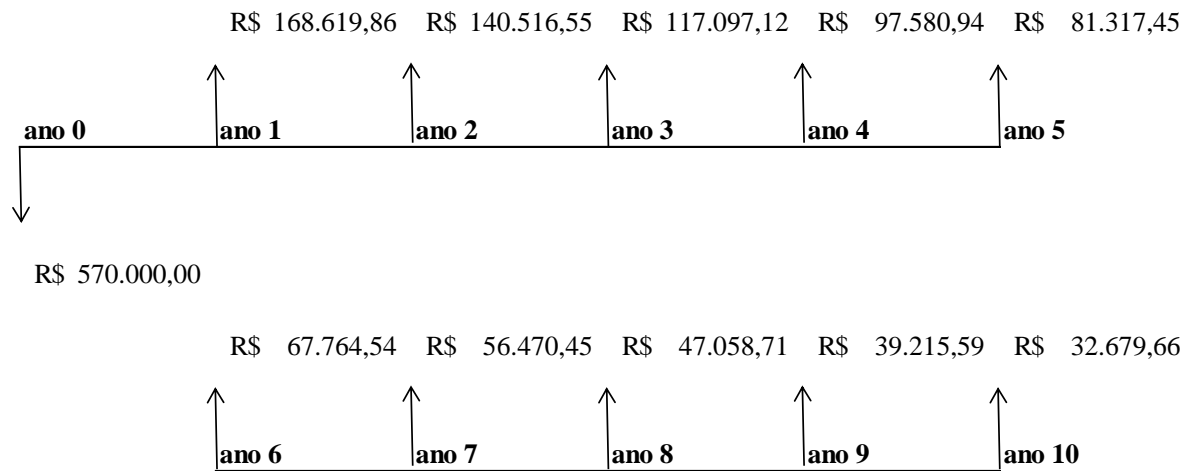


Fonte: Próprio autor.

O fluxo de caixa nominal não considera o valor do dinheiro no tempo. Para ter o fluxo de caixa a valor presente, é necessário descontar, dos valores nominais, a taxa mínima de atratividade, que leva em consideração a inflação do horizonte de tempo avaliado, o custo de oportunidade e o risco do projeto.

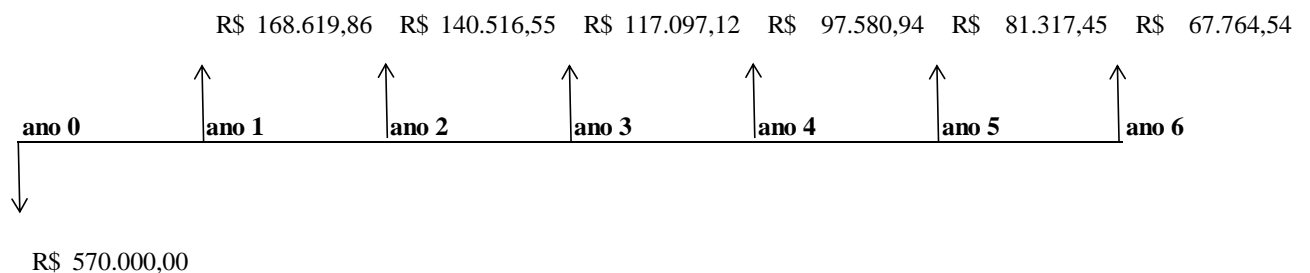
No estudo de caso em questão, seguindo restrição estabelecida pela empresa analisada, foi empregada a taxa mínima de atratividade de 20% ao ano. Para essa taxa, os fluxos de caixa descontados do projeto para o primeiro e segundo cenários estão indicados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Fluxo de caixa descontado com capital próprio no horizonte de tempo de dez anos



Fonte: Próprio autor.

Figura 16 - Fluxo de caixa descontado com capital próprio no horizonte de seis anos



Fonte: Próprio autor.

Tendo o fluxo de caixa, é possível calcular o payback do investimento, ou seja, o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado. O payback, portanto, foi calculado em relação aos fluxos de caixa nominal (payback simples) e descontado (payback descontado), sendo o último deles aquele que melhor evidencia a análise de viabilidade financeira.

No primeiro e segundo cenários, para o payback simples, o retorno do investimento deve se dar com 2 anos e 10 meses e, para o payback descontado, com 4 anos e 6 meses.

Para o primeiro e segundo cenário, foram calculados outros dois indicadores de viabilidade financeira: o VPL e a TIR. O VPL foi calculado a partir do fluxo de caixa descontado, obtendo um valor de R\$ 231.934,05 para o primeiro cenário e de R\$ 85.747,04 para o segundo cenário, os quais expressam o resultado econômico no período de duração do projeto. Quanto à TIR, esta foi calculada a partir do fluxo de caixa nominal, obtendo o resultado de 33,53% ao ano para o primeiro cenário e de 27,06% ao ano para o segundo

cenário, expressando o retorno do projeto. Os indicadores de viabilidade financeira para utilização de capital próprio para o primeiro e o segundo cenários estão apresentados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Indicadores de viabilidade financeira para capital próprio no horizonte de tempo de dez anos

CAPITAL PRÓPRIO				
ANO	FLUXO DE CAIXA NOMINAL	FLUXOS DESCONTADOS	PAYBACK SIMPLES	PAYBACK DESCONTADO
0	-R\$ 570000	-R\$ 570000	-R\$ 570000	-570000
1	R\$ 202.343,83	R\$ 168.619,86	- R\$ 367.656,17	-401.380,14
2	R\$ 202.343,83	R\$ 140.516,55	- R\$ 165.312,34	-260.863,59
3	R\$ 202.343,83	R\$ 117.097,12	R\$ 37.031,49	-143.766,47
4	R\$ 202.343,83	R\$ 97.580,94	R\$ 239.375,32	-46.185,53
5	R\$ 202.343,83	R\$ 81.317,45	R\$ 441.719,15	35.131,91
6	R\$ 202.343,83	R\$ 67.764,54	R\$ 644.062,98	102.896,45
7	R\$ 202.343,83	R\$ 56.470,45	R\$ 846.406,81	159.366,90
8	R\$ 202.343,83	R\$ 47.058,71	R\$ 1.048.750,64	206.425,61
9	R\$ 202.343,83	R\$ 39.215,59	R\$ 1.251.094,47	245.641,20
10	R\$ 202.343,83	R\$ 32.679,66	R\$ 1.453.438,30	278.320,86
	PAYBACK		2 ano e 10 meses	4 anos e 6 meses
	VPL			R\$ 231.934,05
	TIR			33,53%

Fonte: Próprio autor.

Tabela 9 - Indicadores de viabilidade financeira para capital próprio no horizonte de tempo de seis anos

CAPITAL PRÓPRIO				
ANO	FLUXO DE CAIXA NOMINAL	FLUXOS DESCONTADOS	PAYBACK SIMPLES	PAYBACK DESCONTADO
0	-R\$ 570.000,00	-R\$ 570.000,00	-R\$ 570.000,00	-R\$ 570.000,00
1	R\$ 202.343,83	R\$ 168.619,86	-R\$ 367.656,17	-R\$ 401.380,14
2	R\$ 202.343,83	R\$ 140.516,55	-R\$ 165.312,34	-R\$ 260.863,59
3	R\$ 202.343,83	R\$ 117.097,12	R\$ 37.031,49	-R\$ 143.766,47
4	R\$ 202.343,83	R\$ 97.580,94	R\$ 239.375,32	-R\$ 46.185,53
5	R\$ 202.343,83	R\$ 81.317,45	R\$ 441.719,15	R\$ 35.131,91
6	R\$ 202.343,83	R\$ 67.764,54	R\$ 644.062,98	R\$ 102.896,45
	PAYBACK		2 anos e 10 meses	4 anos e 6 meses
	VPL			R\$ 85.747,04
	TIR			27,06%

Fonte: Próprio autor.

Analisando os resultados de viabilidade financeira do primeiro e do segundo cenários, disponíveis nas Tabelas 8 e 9, verifica-se que os dois podem ser inviáveis para a implantação do projeto, pois, apesar do VPL ser positivo e da TIR ser maior do que a taxa

mínima de atratividade, o payback descontado está acima do limite de tempo máximo (3 anos) estabelecido como restrição, pela empresa estudada, para retorno do investimento realizado.

Assumindo a condição de que a empresa não tenha estabelecido a restrição de tempo máximo para retorno do investimento, haveria viabilidade para o primeiro e o segundo cenários, dentre os quais o primeiro se mostra mais atrativo, pois seu VPL é maior.

Para o terceiro cenário, foi realizada uma simulação no Banco do Brasil, na linha de financiamento Proger (Programa de Geração de Emprego e Renda). Tal financiamento refere-se a 80% do capital necessário para o projeto, com juros pós-fixados, sendo 5,0% efetivos ao ano mais a taxa de juros de longo prazo (TJLP) e período para pagamento de seis anos, com um ano de carência. A Tabela 10 contempla a simulação realizada, mostrando o valor anual a ser pago.

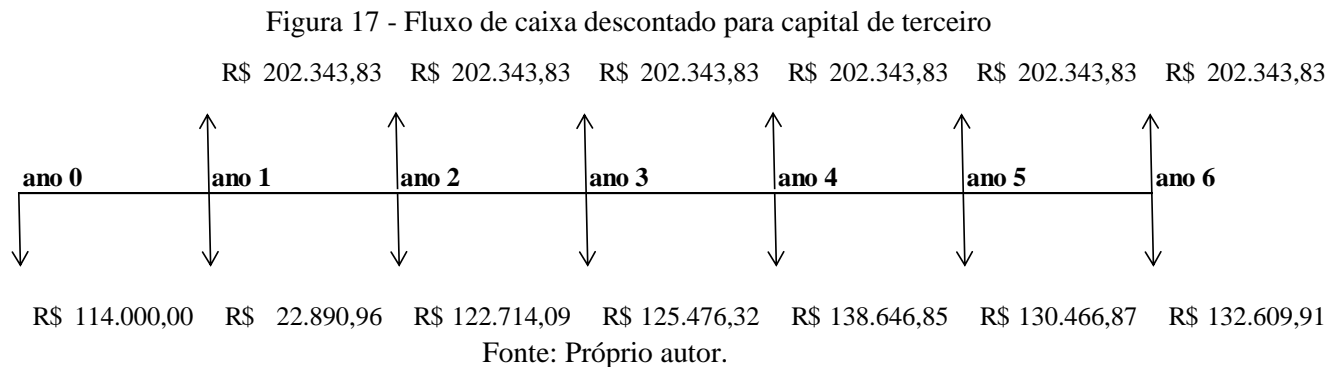
Tabela 10 - Simulação PROGER

Valor do Financiamento Pretendido: R\$ 456.000,00. TJLP: 6,50%.						
Juros: 5,00% efetivos ao ano.						
O valor a ser pago pela Tarifa de Contratação é de R\$: 1.200,00						
Financiamento de 80% do investimento						
Carência de 12 meses						
CET Mensal: TJLP + 0,41% efetivos ao mês.						
CET Anual: TJLP + 5,08% efetivos ao ano.						
Informações adicionais – CET			(R\$)	(%)		
a) valor total devido no ato da contratação:			457.200,0	-		
b) valor liberado ao cliente:			456.000,0	99,74		
c) despesas vinculadas à concessão de crédito:			1.200,00	0,26		
c1) tarifas de contratação			1.200,00	0,26		
c2) comissão de concessão de aval			0,00	0		
Ano	Amortização de principal	Encargos Básicos Projetados	Pgto encargos Básicos	Pgto encargos Adicionais	Prestação Total	Saldo Devedor
1	0,00	29.409,51	0,00	22.890,96	22.890,96	485.409,52
2	91.200,00	28.596,78	9.255,14	22.258,94	122.714,09	413.551,17
3	91.200,00	23.757,16	15.784,35	18.491,99	125.476,32	330.324,00
4	91.200,00	19.955,35	24.314,00	15.532,86	138.646,85	234.530,04
5	91.200,00	11.712,62	30.150,05	9.116,81	130.466,87	124.892,60
6	91.200,00	4.339,54	38.032,16	3.377,74	132.609,91	0,00

Fonte: Banco do Brasil.

Para avaliar a viabilidade do projeto, a partir das informações das prestações a serem pagas anualmente referentes ao financiamento, foi projetado um fluxo de caixa descontado para um período de seis anos (Figura 17), abrangendo, assim, o investimento necessário e a geração de caixa obtido com a recuperação do etanol evaporado na fermentação alcoólica.

Nesse cenário, no ano zero, há um investimento de capital próprio (saída do caixa) no valor de R\$ 114.000,00, referente a 20% do capital que não faz parte do financiamento. Nos anos seguintes, há saídas de caixa referentes ao pagamento do financiamento e entradas anuais no caixa no valor de R\$ 202.343,83, como demonstrado nos fluxos de caixa descontado da Figura 17.



O VPL e a TIR foram calculados a partir do fluxo de caixa descontado, o qual possui a taxa de juros descontada no valor da prestação do financiamento. Para o VPL, foi obtido um valor de R\$ 427.258,16, e a TIR atingida foi de 114,58% ao ano. A Tabela 11 apresenta os indicadores de viabilidade financeira para 80% de capital terceiro.

Tabela 11 - Fluxo de caixa descontado – capital terceiro

CAPITAL TERCEIRO				
FLUXO DE CAIXA				
ANO	INVESTIMENTO	RETORNO	LÍQUIDO	PAYBACK DESCONTADO
0	R\$ 114.000,00		-R\$ 114.000,00	-R\$ 114.000,00
1	R\$ 22.890,96	R\$ 202.343,86	R\$ 179.452,90	R\$ 88.343,86
2	R\$ 122.714,09	R\$ 202.343,86	R\$ 79.629,77	R\$ 290.687,72
3	R\$ 125.476,32	R\$ 202.343,86	R\$ 76.867,54	R\$ 493.031,58
4	R\$ 138.646,85	R\$ 202.343,86	R\$ 63.697,01	R\$ 695.375,44
5	R\$ 130.466,87	R\$ 202.343,86	R\$ 71.876,99	R\$ 897.719,30
6	R\$ 132.609,91	R\$ 202.343,86	R\$ 69.733,95	R\$ 1.100.063,16
PAYBACK			1 ano e 5 meses	
VPL			R\$ 427.258,16	
TIR			114,58%	

Fonte: Próprio autor.

Analisando o resultado da viabilidade financeira do terceiro cenário, verifica-se que é realizável para a implantação do projeto, pois:

- o VPL é positivo, ou seja, o investimento é viável;
- a TIR é maior que a taxa mínima de atratividade, ou seja, o investimento é viável;

- o payback descontado está abaixo do limite de tempo máximo (3 anos) estabelecido como restrição, pela empresa estudada, para retorno do investimento realizado, ou seja, o investimento é viável.

Assumindo a condição de que a empresa estudada não tenha estabelecido a restrição de tempo máximo para retorno do investimento e comparando os resultados de viabilidade financeira dos três cenários estudados, evidenciados na Tabela 12, verifica-se que haveria viabilidade financeira para os três cenários.

Apesar disso, nessa condição, o terceiro cenário, ou seja, 80% de capital de terceiro, é o cenário mais atrativo, pois é aquele que contém maior VPL, significando que realizar esse investimento é equivalente a receber um pagamento de R\$ 427.258,26, enquanto, no primeiro e no segundo cenários, os pagamentos seriam R\$ 231.934,05 e R\$ 85.747,04, respectivamente. Além disso, o terceiro cenário é o que expõe menor payback descontado, 1 ano e 5 meses, com pagamentos até o sexto ano.

Além disso, para o terceiro cenário, a taxa de juros é de 5% efetivos ao ano, acrescida de 6,5% referente à TJLP, totalizando juros de 11,5% efetivos ao ano, que é menor do que a taxa mínima de atratividade, 20% ano, para os cenários que utilizam capital próprio. Isso traduz, ainda, que utilizar capital de terceiro para implantação do projeto é mais barato do que utilizar o capital próprio, promovendo a alavancagem financeira da empresa, ou seja, aumento de sua rentabilidade.

Tabela 12 - Comparativo dos indicadores de viabilidade dos três cenários estudados

Indicador	Fonte de recurso		
	Próprio Horizonte de 10 anos	Próprio Horizonte de 6 anos	Terceiro 80% Proger
VPL (R\$ mil)	231.934,05	85.747,04	427.258,16
TIR (%)	33,53	27,06	114,58
Payback descontado (anos)	5 ano e 2 meses	5 anos e 2 meses	1 ano e 5 meses
Payback simples (anos)	3 anos e 2 meses	3 anos e 2 meses	-

Fonte: Próprio autor.

A condição da não existência da restrição quanto ao tempo máximo de retorno do investimento foi feita apenas para permitir um comparativo entre os cenários. Nesses termos, portanto, dentre os cenários estudados, aquele que utiliza 80% de capital de terceiro revela-se extremamente positivo, permitindo recuperação do investimento no curto prazo, fazendo dele uma possibilidade particularmente atrativa.

5. CONCLUSÕES

A realização do presente trabalho foi proporcionada pela avaliação do processo atual de produção de etanol em destilaria autônoma. Dentre os diversos setores dessa indústria, identificou-se que o Setor de Fermentação apresenta oportunidade de melhoria em seu processo, pois a fermentação é realizada em dornas abertas, fazendo com que parte do etanol presente no meio fermentativo seja arrastado pelo CO₂ produzido durante a fermentação, provocando a perda de etanol por evaporação.

Levando em consideração o observado, foram formulados os aspectos principais relativos ao processo de produção de etanol, mais especificamente aqueles relevantes à etapa de fermentação alcoólica, com foco na proposta de projeto para recuperar o etanol evaporado e na avaliação da viabilidade financeira desse projeto.

Com a revisão da literatura, verificou-se que, para recuperação do etanol evaporado, é necessário fechar as dornas de fermentação e inserir, no processo, uma coluna de recuperação, permitindo, para as condições do processo estudado e projeto proposto, a recuperação de 0,72% do etanol evaporado.

Para elaboração da proposta e avaliação da viabilidade financeira do projeto para recuperação do etanol evaporado, informações acerca da capacidade nominal de processamento da cana-de-açúcar (moagem), da produção e preço do etanol hidratado e anidro e do custo para implantação do projeto foram coletadas.

A partir dessas informações, deu-se o cálculo dos indicadores de viabilidade financeira, VPL, TIR e payback descontado para três cenários distintos. No primeiro e segundo cenários, o capital necessário para investimento é próprio, com horizonte de tempo de dez e seis anos, respectivamente, enquanto, no terceiro cenário, o capital a ser utilizado no projeto é de terceiro, com horizonte de tempo de seis anos.

Os resultados obtidos permitem afirmar que a implantação do projeto é viável apenas para o terceiro cenário estudado, com VPL de R\$ 427.258,16, TIR de 114,58% ao ano e payback descontado de 1 ano e 5 meses, com pagamentos até o sexto ano. O primeiro e o segundo cenários são inviáveis porque, apesar dos valores de VPL e TIR serem atrativos, o valor de payback descontado, 5 anos e 2 meses, é acima do limite máximo de três anos estabelecidos como restrição pela empresa analisada para o retorno do investimento.

Assumindo a condição de que a empresa estudada não tenha estabelecida a restrição de tempo máximo para retorno do investimento, o primeiro e o segundo cenários seriam

também viáveis. Apesar disso, dentre os três cenários, o terceiro seria o mais atrativo, pois é o que demonstra maior VPL.

Além, a taxa de juros referente à utilização de 80% de capital de terceiro é menor do que para utilização de capital próprio, tornando o capital de terceiro mais barato e, portanto, mais atrativo. A utilização de capital de terceiro é uma forma de promover a alavancagem financeira da empresa, ou seja, o aumento da rentabilidade.

Após a realização desta pesquisa, pode-se dizer que foram atingidos os objetivos determinados em sua introdução, havendo pertinência com a proposta inicial do projeto, igualmente permitindo avaliar a viabilidade financeira de sua implantação para recuperação do etanol evaporado na fermentação alcoólica.

Finalmente, o estudo ora desenvolvido foi apresentado à empresa analisada, que o considerou como contribuição de grande valia, pois tais delineamentos fazem parte das perspectivas de investimento da empresa, visto que a mesma pretende implantar, nos próximos anos, pré-evaporador para elevar o brix do mosto utilizado na alimentação da fermentação alcoólica, proporcionando maior teor alcoólico no meio fermentativo, o que leva ao aumento da porcentagem de etanol arrastado pelo CO_2 produzido na fermentação; portanto, ao aumento da perda de etanol evaporado. Dessa forma, a implantação do projeto aqui proposto é considerado pela empresa analisada premissa para viabilizar a implantação do pré-evaporador.

REFERÊNCIAS

ADORNA, Jaqueline Cristiane. **Adubação com micronutrientes no plantio da cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2011. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0633.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

ALEXANDRINO, Natalia. **Melhoramento de leveduras para fermentação com alto teor alcoólico mediante hibridação e evolução adaptativa**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Microbiologia Agrícola) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-20092012-084510/pt-br.php>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

AMORIM, Henrique Viana. Fermentação de trealose e glicogênio endógenos em *Saccharomyces cerevisiae*. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 1, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611999000100008>. Acesso em: 19 fev. 2015.

ANDRIETTA, Maria da Graça S.; STECKELBERG, Cláudia; ANDRIETTA, Sílvio Roberto. Bioetanol – Brasil, 30 anos de vanguarda. **Revista MultiCiência**, n. 7, 2006. Disponível em: <https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_07/a_02_7.pdf>. Acesso em: 22 fev.2015.

ANDRIETTA, Sílvio Roberto. **25 Anos de fermentação: o que aprendemos?** In: Semana de Fermentação Alcoólica. Vol. 5, p. 1-44. Piracicaba: STAB, 2010.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 19**, de 15.4.2015 - DOU 16.4.2015 - Republicada DOU 17.4.2015 - Republicada DOU 20.4.2015. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/abril/ranp%2019%20-%202015.xml>. Acesso em: 20 mai. 2015.

ASSAF NETO, Alexandre; GUASTI LIMA, Fabiano. **Curso de Administração financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2011

ATALA, Daniel Ibraim Pires. **Fermentação alcoólica com alta densidade celular: modelagem cinética, convalidação de parâmetros e otimização do processo**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000184691>>. Acesso em: 17 fev. 2015.

Banco do Brasil. PROGER Urbano Empresarial. Disponível em: <<https://www8.bb.com.br/simulador/formGeral.sml?opcao=detalharLinhaCreditoFinanciamentoCarenacia&codigoLinhaCredito=61>>. Acesso em: 05 set. 2015.

BASTOS, Valéria Delgado. **Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias**. BNDS Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, Mar. 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2501.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2015.

BORDEAUX-RÊGO, Ricardo; PAULO, Goret Pereira; SPRITZER, Ilda Maria de Paiva Almeida; ZOTES, Luis Pérez. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. 3. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2010.

BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Brasil). **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. BNDES e CGEE (org.). Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

CARVALHO, Bruno Siqueira de. **Efeito da temperatura na cinética de morte celular e em fermentação alcoólica contínua com reciclo de células**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000113183>>. Acesso em: 27 dez. 2014.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioetanol Combustível: uma oportunidade para o Brasil**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.nipe.unicamp.br/2013/docs/publicacoes/bioetanol-combustivel-uma-oportunidade-para-o-brasil.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2015.

CERVI, Ricardo Ghantous. **Modelagem matemática para maximização da produção da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e impactos sobre o custo de operações mecanizadas de corte e carregamento**. 2013. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2013. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq1035.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2015.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2015.

CRISTOFOLETTI JUNIOR, Silvio Carlos. **Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toletes de variedades de cana-de-açúcar**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de

Agricultura “Luiz de Queirós”, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-29052012-102556/pt-br.php>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **Brasil líder mundial em conhecimento e tecnologia de cana e etanol**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.fapesp.br/publicacoes/livro_etanol.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2015.

FERNANDES, Antonio Carlos. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-Açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2003.

GALLARDO, Alfonso Pires. **Avaliação da viabilidade financeira de um novo porto de contêineres, à luz das diretrizes do decreto 6.620**. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-28022011-123955/pt-br.php>>. Acesso em: 06 mai. 2015.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**. 10ª ed. São Paulo, Addison-Wesley, 2005.

HAMERSKI, Fabiane. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar**. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://www.posalim.ufpr.br/Pesquisa/pdf/DissertaFabianeH.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

HOJI, Masakazu. **Administração financeira: uma abordagem prática**. São Paulo: Atlas, 1999.

MARQUES, P. V et al. **Tecnologia na Agroindústria Canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008.

NEVES, Larissa Carolina Gonçalves et al. Maturação em cana-de-açúcar: Manejo do Solo. **Revista Colloquium Agrariae**, v. 6, n. 2, p. 14-19, 2010. Disponível em: <<http://revistas.unoeste.br/revistas/ojs/index.php/ca/article/viewFile/509/500>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

NORDI, Mateus Esperança. **Avaliação das transferências de calor e massa na recuperação de etanol por arraste por CO₂**. 2012. 82 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012. Disponível em: <<http://www.projetoagora.com.br/premiotopetanol2012/arquivos/docs/2013/07/3c370dd85666e6a3ea11374c9038a877.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

PATERNINA, Lia Margarita Conhen. **Modelagem e simulação do processo de fermentação extrativa a vácuo com uma câmara de flash e separação do CO₂ utilizando uma coluna de absorção**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000806199>>. Acesso em: 09 dez. 2014.

PORTO, Lia de Mendonça. **Modelagem de processo industrial de fermentação alcoólica contínua com reatores de mistura ligados em série**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000381157>. Acesso em: 15 mar. 2015.

RABELO, Sarita Cândida. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração**. 2010. 414 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <<http://pct.capes.gov.br/teses/2010/33003017034P8/TES.PDF>>. Acesso em: 17 jul. 2015.

REBELATO, Marcelo Giroto et al. Análise da Viabilidade econômica de uma planta para captura de CO₂ na indústria alcooleira. **Revista Gestão e Tecnologia**, v. 12, n. 2, p. 64-88, 2012. Disponível em: <<http://revistagt.fpl.edu.br/get/article/view/387>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

SAMANEZ, Carlos Patricio. **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SANTOS, Neisvaldo Barbosa. **Identificação dos fatores críticos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*saccharum spp*)**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-19102011-090951/pt-br.php>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis; BACHA, Carlos José Caetano. Evolução da agroindústria canavieira brasileira de 1975 a 1995. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 53, n. 1, p. 69-89, Jan/Mar, 1999. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/viewFile/746/1740>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

SILVA, Danilo Piccolo. **Estudo econômico no período de duração da safra de cana-de-açúcar na produção de açúcar e álcool para usinas de médio porte da região centro sul do Brasil**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e

Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2007. Disponível em: <<http://maua.br/files/dissertacoes/22.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muskat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. rev. Atual. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2015.

SOUZA, Acilon Batista de. **Curso de Administração financeira e orçamento**. São Paulo: Atlas, 2014.

SOUZA, Crisla Serra. **Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de *S. cerevisiae***. 2009. 136 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/87/87131/tde-05082009-171501/publico/CrislaSerraSouza_Doutorado.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2015.

STECKELBERG, Cláudia. **Caracterização de leveduras de processos de fermentação alcoólica utilizando atributos de composição celular e características cinéticas**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000232430>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

TAVARES, Maria Flávia de Figueiredo. Etanol como uma Nova Matriz Energética? ESPM, Central de Cases, 2009. Disponível em: <<http://www2.espm.br/sites/default/files/etanol.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2015

UDOP, União dos Produtores de Bioenergia. **Fluxogramas da Produção de Açúcar e Álcool**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=29960>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

UNICA, União da Indústria de cana-de-açúcar. **Maior produtor mundial de cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/faq/>. Acesso em: 07 fev. 2015.